

TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

**Part 1-20: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products –
Ignitability – General guidance**

Essais relatifs aux risques du feu –

**Partie 1-20: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits
électrotechniques – Allumabilité – Lignes directrices générales**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

**Part 1-20: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products –
Ignitability – General guidance**

Essais relatifs aux risques du feu –

**Partie 1-20: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits
électrotechniques – Allumabilité – Lignes directrices générales**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

R

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Principles of ignitability.....	10
4.1 Gases	10
4.1.1 Flammability limits	10
4.1.2 Arc fires.....	10
4.2 Liquids	10
4.2.1 Introduction	10
4.2.2 Ignition parameters.....	10
4.2.3 Insulating liquids.....	11
4.3 Solids.....	11
4.3.1 Introduction	11
4.3.2 Parameters affecting ignition	11
4.3.3 Metals	12
4.3.4 Carbon (graphite) and carbonaceous char	12
4.3.5 Reactive substances.....	13
4.3.6 Dust clouds	13
5 Consideration for the selection of test methods	13
5.1 Introduction	13
5.2 Fire scenario	13
5.3 Ignition sources.....	13
5.3.1 Internal sources.....	14
5.3.2 External sources.....	14
5.3.3 Arc ignition of materials	15
5.4 Types of test specimen.....	16
5.5 Test procedure and apparatus.....	16
6 Use and interpretation of results.....	17
Annex A (informative) Examples of accidents due to arc fires in underground hydroelectric power plants or urban substations.....	18
Bibliography.....	19

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –**Part 1-20: Guidance for assessing the fire
hazard of electrotechnical products –
Ignitability – General guidance**

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- the subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC 60695-1-20, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

It has the status of a basic safety publication in accordance with IEC Guide 104 and ISO/IEC Guide 51.

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

Enquiry draft	Report on voting
89/807/DTS	89/827/RVC

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

This technical specification is to be used in conjunction with IEC 60695-1-21 .

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

A list of all the parts in the IEC 60695 series, under the general title *Fire hazard testing*, can be found on the IEC website.

Part 1 consists of the following parts:

- Part 1-10¹: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines
- Part 1-11¹: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment
- Part 1-20: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – General guidance
- Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – Summary and relevance of test methods
- Part 1-30: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Preselection testing procedures – General guidelines
- Part 1-40: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Insulating liquids

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

- transformed into an International standard,
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

¹ Under consideration.

INTRODUCTION

Fires are responsible for creating hazards to life and property as a result of the generation of heat (thermal hazard), and also as a result of the production of toxic effluent, corrosive effluent and smoke (non-thermal hazard). Fires start with ignition and then can grow, leading in some cases to flash-over and a fully developed fire. Ignition resistance is therefore one of the most important parameters of a material to be considered in the assessment of fire hazard. If there is no ignition there is no fire.

For most materials (other than metals and other elements), ignition occurs in the gas phase. Ignition occurs when combustible vapour, mixed with air, reaches a high enough temperature for exothermic oxidation reactions to rapidly propagate. The ease of ignition is a function of the chemical nature of the vapour, the fuel/air ratio and the temperature.

In the case of liquids, the combustible vapour is produced by vaporization of the liquid, and the vaporization process is dependent on the temperature and chemical composition of the liquid.

In the case of solids, the combustible vapour is produced by pyrolysis when the temperature of the solid is sufficiently high. The vaporization process is dependent on the temperature and chemical composition of the solid, and also on the thickness, density, specific heat, and thermal conductivity of the solid.

The ease of ignition of a test specimen depends on many variables. Factors that need to be considered for the assessment of ignitability are:

- a) the geometry of the test specimen, including thickness and the presence of edges, corners or joints;
- b) the surface orientation;
- c) the rate and direction of air flow;
- d) the nature and position of the ignition source;
- e) the magnitude and position of any external heat flux; and
- f) whether the combustible material is a solid or a liquid.

In the design of any electrotechnical product, the risk of fire and the potential hazards associated with fire need to be considered. In this respect the objective of component, circuit and equipment design as well as the choice of materials is to reduce to acceptable levels the potential risks of fire even in the event of foreseeable abnormal use, malfunction or failure. IEC 60695-1-10², together with its companion, IEC 60695-1-11², provide guidance on how this is to be accomplished.

The primary aims are to prevent ignition caused by an electrically energized component part, and in the event of ignition, to confine any resulting fire within the bounds of the enclosure of the electrotechnical product.

Secondary aims include the minimization of any flame spread beyond the product's enclosure and the minimization of harmful effects of fire effluents including heat, smoke, and toxic or corrosive combustion products.

Fires involving electrotechnical products can also be initiated from external non-electrical sources. Considerations of this nature are dealt with in the overall risk assessment.

This technical specification gives an overview of ignitability and its relevance to the fire hazard of electrotechnical products.

² Under consideration.

FIRE HAZARD TESTING –

Part 1-20: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – General guidance

1 Scope

IEC 60695-1-20, which is a technical specification provides guidance on the ignitability of electrotechnical products and the materials from which they are formed. It gives guidance on;

- a) the principles of ignitability,
- b) the selection of appropriate test methods, and
- c) the use and interpretation of results.

This technical specification is intended for use by technical committees in preparation of standards in accordance with the principles laid down IEC Guide 104 and ISO/IEC Guide 51.

One of the responsibilities of a technical committee is, wherever applicable, to make use of basic safety publications in the preparation of its publications. The requirements, test methods or test conditions of this basic publication will not apply unless specifically referred to or included in the relevant publications.

2 Normative references

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

IEC 60695-1-10, *Fire hazard testing – Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines*³

IEC 60695-1-11, *Fire hazard testing – Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment*³

IEC 60695-1-21, *Fire hazard testing – Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – Summary and relevance of test methods*

IEC 60695-2-11, *Fire hazard testing – Part 2-11: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for end-products*

IEC 60695-2-12, *Fire hazard testing – Part 2-12: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for materials*

IEC 60695-2-13, *Fire hazard testing – Part 2-13: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire ignitability test method for materials*

IEC 60695-4:2005, *Fire hazard testing – Part 4: Terminology concerning fire tests in electrotechnical equipment*

IEC 60695-8-3, *Fire hazard testing – Part 8-3: Heat release – Heat release of insulating liquids used in electrotechnical products*⁴

³ Under consideration.

⁴ To be published.

IEC 60695-11-5, *Fire hazard testing – Part 11-5: Test flames – Needle-flame test method – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance*

IEC 60695-11-10, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods*

IEC 60695-11-11, *Fire hazard testing – Part 11-11: Test flames – Determination of the ignition characteristic heat flux from a flame source*⁵

IEC 60695-11-20, *Fire hazard testing – Part 11-20: Test flames – 500 W flame test methods*

IEC Guide 104:1997, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

EN 14522, *Determination of the auto ignition temperature of gases and vapours*

ISO/IEC Guide 51:1999, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

ISO/IEC 13943:2000, *Fire safety – Vocabulary*

ISO 871, *Plastics – Determination of ignition temperature using a hot-air furnace*

ISO 2592, *Determination of flash and fire points. Cleveland open cup method*

ISO 2719, *Petroleum products and lubricants - Determination of flash point – Pensky-Martens closed cup method*

ISO 5657, *Reaction to fire tests – Ignitability of building products using a radiant heat source*

ISO 10840, *Plastics – Guidance for the use of standard fire tests*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

auto ignition temperature

lowest temperature (of a hot surface) at which under specified test conditions an ignition of a flammable gas or flammable vapour in mixture with air or air/inert gas occurs

[EN 14522, definition 3.1]

3.2

combustion

exothermic reaction of a substance with an oxidizer

NOTE Combustion generally emits effluent accompanied by flames and/or visible light.

[ISO/IEC 13943:2000, definition 23]

3.3

fire

- a) a process of combustion characterized by the emission of heat and effluent accompanied by smoke, and/or flame, and/or glowing;
- b) rapid combustion spreading uncontrolled in time and space

[IEC 60695-4:2005, definition 3.19]

⁵ Under consideration.

3.4

fire hazard

⟨cause of fire⟩ physical object or condition with a potential for an undesirable consequence from fire

3.5

fire point

minimum temperature at which a material ignites and continues to burn for a specified time after a standardized small flame has been applied to its surface under specified conditions

NOTE 1 It is expressed in degrees Celsius.

NOTE 2 In some countries the term "fire point" has an additional meaning: a location where fire fighting equipment is sited, which may also comprise a fire-alarm call point and fire instruction notices.

[ISO/IEC 13943:2000, definition 53]

3.6

fire retardant (noun)

a substance added or a treatment applied to a material in order to suppress, reduce or delay the combustion of the material

[IEC 60695-4:2005, definition 3.31]

3.7

fire scenario

a detailed description of conditions, including environmental, of one or more of the stages from before ignition to the completion of combustion in an actual fire at a specific location, or in a full-scale simulation

[IEC 60695-4:2005, definition 3.32]

3.8

flame (noun)

zone of combustion in the gaseous phase, usually with emission of light

[ISO/IEC 13943:2000, definition 60]

3.9

flame retardant (noun)

substance added, or a treatment applied, to a material in order to suppress or delay the appearance of a flame and/or reduce its propagation (spread) rate

NOTE The use of flame retardants does not necessarily suppress fire.

[ISO/IEC 13943:2000, definition 65]

3.10

flaming combustion

combustion in gaseous phase, usually with emission of light

[ISO/IEC 13943:2000, definition 72]

3.11

flash-ignition temperature (FIT)

the minimum temperature at which, under specified test conditions, sufficient flammable gases are emitted to ignite momentarily on application of a pilot flame

[ISO 871, definition 3.1]

3.12

flash-over

the rapid transition to a state of total surface involvement in a fire of combustible materials within an enclosure

[IEC 60695-4:2005, definition 3.42]

3.13**flash point**

the minimum temperature to which a product must be heated for the vapours emitted to ignite momentarily in the presence of flame, under specified test conditions

NOTE Expressed in °C.

[IEC 60695-4:2005, definition 3.43]

3.14**fully developed fire**

state of total involvement of combustible materials in a fire

[ISO/IEC 13943:2000, definition 80]

3.15**glowing combustion**

combustion of a material in the solid phase without flame but with the emission of light from the combustion zone

[ISO/IEC 13943:2000, definition 84]

3.16**ignitability**

measure of the ease with which an item can be ignited, under specified conditions

[ISO/IEC 13943:2000, definition 91]

3.17**ignition**

initiation of combustion

NOTE The term "ignition" in French has a very different meaning [state of body combustion].

[ISO/IEC 13943:2000, definition 96]

3.18**ignition source**

source of energy that initiates combustion

[ISO/IEC 13943:2000, definition 97]

3.19**ignition temperature (minimum)**

the (minimum) temperature of a material or of an ignition source at which sustained combustion can be initiated under specified test conditions, as defined in the test method

NOTE Ignition requires a sufficient volume of flammable gas and oxidant (air). Sustained combustion requires a sufficient rate of production of flammable gas. The minimum ignition temperature implies thermal stressing to infinite time. For practical purposes, the standard should define the minimum ignition temperature appropriately.

[IEC 60695-4:2005, definition 3.51]

3.20**lower flammability limit (LFL)**

lowest concentration of a flammable substance in air within which a self-propagating flame can occur

3.21**spontaneous-ignition temperature (SIT)**

minimum temperature at which ignition is obtained by heating, under specified test conditions, in the absence of any additional flame ignition source

[ISO 871, definition 3.2]

3.22

thermal inertia

product of thermal conductivity, density and specific heat capacity

NOTE 1 When a material is exposed to a heat flux, the rate of increase in surface temperature depends strongly on the value of the thermal inertia of the material. The surface temperature of a material with a low thermal inertia rises relatively quickly when it is heated, and vice versa.

NOTE 2 The typical units are $J^2 \cdot s^{-1} \cdot m^{-4} \cdot K^{-2}$.

3.23

upper flammability limit (UFL)

highest concentration of a flammable substance in air within which a self-propagating flame can occur

4 Principles of ignitability

4.1 Gases

Ignition of a gas depends on how the gas is mixed with air. If the gas is mixed with air before ignition, the subsequent reaction is known as premixed combustion. In a burner the combustion is controlled, but if a large volume of a gas/air mixture is ignited a gas explosion results.

In most fires ignition results in the development of diffusion flames where combustible gas comes in contact with air without being previously mixed.

Gas mixtures can be ignited in two basic ways:

- a) auto-ignition – where the temperature of all the gas mixture is raised, and
- b) piloted ignition – where a local source of heat is introduced, e.g. a flame or an electrical spark.

Some fires are the result of the ignition of a material which is already in the gaseous state, but combustible gases can also be produced by the vaporization of liquids (see 4.2) or by the pyrolysis of solids (see 4.3).

4.1.1 Flammability limits

Flame propagation cannot occur in a fuel/air gas mixture if the fuel concentration is too low or too high. The limiting concentration values are known as the lower flammability limit (LFL) and the upper flammability limit (UFL). These limits arise because flames need a minimum temperature to exist. Too much air or fuel prevents the temperature being maintained at a sufficiently high level. Flammability limits are normally expressed as the percentage of fuel, by volume, in the fuel/air mixture.

4.1.2 Arc fires

Faults in some electrical equipment such as junction boxes and power transformers can result in disruptive electrical discharges (electric arcs) which can pyrolyse insulation materials to produce high temperature combustible gases. Such gases expand rapidly and in contact with air can result in an explosion (see 5.3.3.4).

4.2 Liquids

4.2.1 Introduction

With the exception of some unstable or reactive substances, liquids do not generally ignite. Normally it is combustible vapour which ignites. The combustible vapour is produced by vaporization of the liquid, and the vaporization process is dependent on the temperature and chemical composition of the liquid.

4.2.2 Ignition parameters

Temperature is normally used to define the ignitability of a liquid. Three different temperatures are used. These are the auto ignition temperature (see 3.1), the fire point (see 3.5) and the flash point (see 3.13). Auto ignition refers to ignition in the absence of a localized heat

source. Flash point concerns momentary ignition. Fire point concerns sustained combustion after ignition.

Several different test methods are used to measure these characteristic temperatures. The measured temperature depends on the particular details of the test apparatus used. It is therefore important to define the test method when quoting these parameters.

4.2.3 Insulating liquids

4.2.3.1 Flash point measurement

ISO 2719 (Pensky-Martens closed cup) is cited in IEC standards for the measurement of the flash point of insulating liquids. It measures the flash point in a confined space and is intended to detect minor amounts of volatile material. An alternative method is ISO 2592 (Cleveland open cup) which is used to measure the flash point over an open liquid surface. The flash point measured by ISO 2592 is significantly lower than that measured by ISO 2719.

4.2.3.2 Cone calorimeter measurements

IEC 60695-8-3 is being developed to measure the quantity of heat released from burning insulating liquids. The test specimen is exposed to a uniform heat flux in the presence of a piloted ignition source. Ignition related properties can be defined as the time to ignition at a specified heat flux, or the minimum incident heat flux that will support ignition.

4.3 Solids

4.3.1 Introduction

With some exceptions (see below) solids do not generally ignite. Normally it is combustible vapour which ignites. The combustible vapour is produced by pyrolysis of the solid, and the vaporization process is dependent on the temperature and chemical composition of the solid.

The exceptions to this general statement are:

- metals (see 4.3.3);
- some other non-metallic elements, for example carbon (see 4.3.4), sulphur and phosphorous;
- certain reactive substances (see 4.3.5); and
- dust clouds (see 4.3.6).

4.3.2 Parameters affecting ignition

In the case of a solid, the generation of flammable volatiles from the material is function of the temperature of that material. This is affected by the nature of the heat input which may be, for example, a radiant heat flux, a convective heat flux, a conductive heat flux, an imposed flame, a hot wire or a combination of these sources.

The ease of ignition will also depend on the chemical nature of the flammable volatiles, which in turn will depend on the chemical nature of the solid.

The rate of heating of the material is a function of a number of properties of the solid:

- a) thickness;
- b) thermal conductivity, (k);
- c) density, (ρ);
- d) specific heat, (c);
- e) absorptivity (in the case of radiative heating).

In a thick test specimen, material below the surface is able to conduct heat away thus reducing the rate of surface heating and increasing the resistance to ignition. In a thin specimen, this cannot happen and so resistance to ignition is lower.

This general rule does not, however, apply to most thermoplastic materials. These have a tendency to melt away from the heat source (e.g. flame or hot-wire) often resulting in non-ignition. This can result in giving a false impression of a high resistance to ignition. Because of this behaviour special considerations should be given to the testing of the ignitability of thermoplastics. The problems that can arise when thermoplastics are tested in standard fire tests are discussed in ISO 10840.

The product, $k\rho c$, is known as 'thermal inertia'. If the thermal inertia is high, for example as in the case of a solid metal, the rate of surface heating will be relatively low and it will therefore take a relatively long time for the ignition temperature to be reached. If the thermal inertia is low, e.g. as in the case of some foamed plastics or low density combustible materials, the rate of surface heating will be relatively high and it will therefore take a relatively short time for the ignition temperature to be reached.

After ignition of the test specimen, flame propagation will occur if the flame transfers sufficient heat flux, mostly as thermal radiation, ahead of the pyrolysis front so as to continue pyrolysis and ignition at a sufficient rate.

The magnitude of the heat flux transferred ahead of the pyrolysis front depends on the heat release rate of the test specimen and on whether there is a continuing imposed heat flux, whereas the resistance to ignition is a function of the minimum ignition temperature of the test specimen and the rate of heating of the surface.

4.3.3 Metals

When a metal burns in air the product of combustion is the metal oxide. Many metals have a film of metal oxide on the surface which is formed from low temperature oxidation. The oxide film cannot burn because it is already the product of the metal's oxidation and so before the bulk metal can burn, the surface layer of oxide must be removed in some way.

Metals can be classified into three groups with respect to their ignition characteristics.

- a) Metals that ignite at or below their melting point (for example iron and magnesium). These metals all have melting points above 650 °C. These metals generally do not form a protective oxide layer.
- b) Metals that ignite after they melt (for example aluminium, lead, tin and zinc). These metals all have melting points below 660 °C. These metals generally form a protective oxide layer.
- c) Metals of low reactivity which do not ignite (for example mercury, silver, gold and platinum).

The ease of ignition is also governed by the surface area/volume ratio of the metal. Thin films of metal and finely divided powders are much easier to ignite than bulk pieces of metal. This is because the heat released by the oxidation process is proportional to the burning surface area, whereas the initial removal of heat from the surface by conduction is proportional to the volume of the metal.

4.3.4 Carbon (graphite) and carbonaceous char

4.3.4.1 Graphite

Pure carbon in the form of graphite can ignite in air above a temperature of about 800 °C. In the range 800 °C to 1 200 °C, non-flaming surface combustion (glowing combustion) is found to occur. Above about 1 200 °C flaming combustion occurs with a CO flame being observed.

4.3.4.2 Carbonaceous char

Carbonaceous chars are impure forms of carbon. Volatile content and porosity are two important variables which contribute to the wide range of observed ignition temperatures. As with graphite both flaming combustion and non-flaming combustion may be observed. Many carbon containing materials tend to form a carbonaceous char on their surface when they burn, and at the early stages of fire this char layer can, to some extent, protect the underlying

material. A correlation has been observed between ignition resistance, as measured by limiting oxygen index, and char yield for a range of organic polymers[1]⁶.

4.3.5 Reactive substances

In most fires the oxidising agent is the oxygen in air. However, in some materials the oxidising agent, usually oxygen, is part of the molecular structure of the material or is mixed with the solid fuel in the form of a solid oxidising agent. These materials are usually deliberately made to be combustible or explosive. Some illustrative examples are:

- “blue touch paper” (cellulose and potassium nitrate);
- gunpowder (carbon, sulphur and potassium nitrate);
- cigarettes (tobacco and potassium nitrate);
- TNT (trinitrotoluene).

4.3.6 Dust clouds

Dust clouds are solid aerosols; suspensions of small solid particles in air or other gases, and their ignition behaviour is more like that of a premixed gas than that of a solid.

5 Consideration for the selection of test methods

5.1 Introduction

Important factors to be considered when selecting the test method to be used include; the fire scenario or scenarios of concern, the possible ignition sources, the type of test specimen, and the type of test procedure and apparatus.

5.2 Fire scenario

The test method(s) selected should be relevant to the fire scenario of concern. Important parameters to be considered include:

- a) the geometry of the test specimen, including thickness and the presence of edges, corners or joints;
- b) any anisotropy;
- c) the surface orientation;
- d) the rate and direction of air flow;
- e) the nature and position of the ignition source;
- f) the magnitude and position of any external heat flux; and
- g) whether the flammable material is a solid or a liquid.

5.3 Ignition sources

The ignition source used in a laboratory test should be relevant to the fire scenario of concern. In the case of the fire hazard of electrotechnical equipment, two types of ignition source are of concern:

- a) from unusual localized, internal sources of ohmic heat within electrotechnical equipment and systems;
- b) from sources of flame or excessive heat which are external to electrotechnical equipment and systems.

In both cases a possible type of ignition specific to electrotechnical equipment is arc ignition. This is discussed in 5.3.3.

⁶ Figures in square brackets refer to the bibliography.

5.3.1 Internal sources

If the ignition source under evaluation is within a product or located inside a component or an apparatus, suitable test methods are those which are able to simulate the overheating caused by:

- a) the internal metallic parts (e.g. electrical contacts, conductors, etc.);
- b) a small flame with a low heat transfer, caused by combustion started within the product or located inside the component or the apparatus under evaluation;
- c) electrical arcs (see 5.3.3).

The following test methods can be used, as appropriate, to measure and describe the properties of a material, product, component or apparatus in response to heat and/or flame under controlled laboratory conditions.

ISO 871 specifies a laboratory method for determining the flash-ignition temperature and spontaneous-ignition temperature of plastics using a hot-air furnace. It is one of a number of methods in use for evaluating the resistance of plastics to the effects of ignition sources.

The glow wire test methods (IEC 60695-2-11, IEC 60695-2-12 and IEC 60695-2-13) simulate the first cause of ignition due to overheating by contact with a heated part, without an open flame.

IEC 60695-2-11 (GWT) applies to components or apparatus only. It provides a qualitative evaluation of the ignition behaviour and, above the minimum ignition temperature, it provides a pass/fail criterion by assessing the burning duration under specified temperature conditions.

IEC 60695-2-12 (GWFI) and IEC 60695-2-13 (GWIT) are suitable for the preselection of insulating materials. The GWFI test is designed to assess the maximum temperature at which a material, when ignited, has a limited duration of burning without spreading fire from the test specimen. The GWIT test is designed to assess the resistance to ignition by measuring the minimum ignition temperature.

IEC 60695-11-5 is suitable to simulate ignition by a small flame. It is applicable to electrotechnical equipment, its sub-assemblies and components and to solid electrical insulating materials or other combustible materials. This test evaluates the ignitability of a given test specimen and measures its ability to self extinguish.

IEC 60695-11-10 and IEC 60695-11-20 each provide a slightly different test method. Both of these test methods involve direct contact of an open flame onto the surface of the test specimen. The materials are rated depending on the length of time they burn (or glow) after removal of the test flame and whether or not flaming droplets are produced. In IEC 60695-11-10 a 50 W test flame is used. In IEC 60695-11-20 the test flame is ten times larger and the flame application time is longer. In both cases the test methods provide classification systems which may be used for quality assurance, or the pre-selection of component materials of products.

NOTE The scopes of IEC 60695-11-10 and IEC 60695-11-20 do not refer to the simulation of either internal or external ignition.

IEC 60695-11-11 is suitable to simulate ignition by the heat flux from a small non-contacting flame.

5.3.2 External sources

If the ignition source under evaluation is located outside the electrotechnical equipment, suitable test methods are those which are able to simulate the thermal stress caused by:

- a) direct impingement of an open flame upon the surface of the equipment;
- b) direct contact of high thermal stress (overheated metallic part) on the surface of the equipment;
- c) indirect thermal heat flux
 - i) radiant,

- ii) convective,
- d) electrical arcs (see 5.3.3).

The methods described in 5.3.1 can also be used to simulate external ignition as well as internal ignition. The difference is the location of the application of the thermal stress. IEC 60695-11-5, which simulates ignition by a small flame (see 5.3.1) has gained acceptance in evaluating external ignition sources such as open candle flames ⁷.

Additional test methods could be:

IEC 60695-11-10 and IEC 60695-11-20 – Both these test methods involve direct contact of an open flame onto the surface of the test specimen.

NOTE The scopes of these standards do not refer to the simulation of either internal or external ignition.

The materials are rated depending on the length of time they burn (or glow) after removal of the test flame and whether or not flaming droplets are produced. In IEC 60695-11-10 a 50 W test flame is used. In IEC 60695-11-20 the test flame is ten times larger and the flame application time is longer. In both cases the test methods provide classification systems which may be used for quality assurance, or the pre-selection of component materials of products.

Indirect thermal flux, as from an item burning nearby, can be evaluated by the following heat release methods.

IEC 60695-11-11 (see 5.3.1) – simulates ignition caused by the heat flux from a small non-contacting flame.

In ISO 5657, this is a small scale test method that is typically used to assess materials rather than products. However, if the product size is less than 100 mm, it can be tested directly. The test specimen is heated by a conical electrical resistance heater, and after ignition the heat release rate is measured.

5.3.3 Arc ignition of materials

5.3.3.1 Arc ignition of gases

Arc ignition of a flammable gas needs a minimum energy. This property is exploited for instance in “intrinsically safe” cables. The voltage and inductance of these cables limits the energy of any sparks, which might be caused by short circuits or relays, to a value below that which could cause ignition. Similar principles are used in specifying voltages and currents in cables used in fuel tanks.

Where it is desired to ignite a flammable gas or aerosol mixture, a high voltage source is normally used to power a spark plug or an ignition devices as used in gas or oil furnaces.

5.3.3.2 Arc ignition of liquids

In general, a liquid needs to be volatilised in order for arc ignition to occur. An example is a high voltage power arc burning across the air/liquid surface of transformer oil. Radiant heat transfer may easily generate a high enough temperature in the liquid to volatilise and ignite it. It is highly desirable to exclude this possibility by design.

5.3.3.3 Arc ignition of solids

Arc ignition of a solid, in either wet or dry conditions, may be caused by any combination of high or low current or voltage. There are several tests available to evaluate both materials and finished products under the appropriate conditions.

Test method IEC 60112 [2] is used to evaluate tracking up to 600 V on materials.

NOTE IEC 60112 is not a test of ignitability, but If ignition occurs followed by persistent flaming within the test period, this constitutes failure of the test.

⁷ See IEC/TS 62441.

Test methods EN 3475-603 [3] and EN 3475-604 [4] are for wires used in the aerospace industry and they simulate wet and dry arc propagation, respectively, in electrical wiring. Momentary short-circuit arcs between a defective insulated wire and another conductor may, through ohmic heating, thermally pyrolyse and char the insulating material. The charred insulation, being conductive, is capable of sustaining the short-circuit arc. The sustained arc may propagate along the wire through continuous pyrolysis of the insulation (arc tracking). If the arcing wire is part of a multiple wire bundle, the insulation of other wires within the bundle may become thermally charred and also start to arc track. Therefore, arc tracking may lead to complete failure of an entire wire bundle or harness.

For low current/high voltages, the IEC 60587 inclined plane wet tracking test [5] is a suitable protocol and it is worth noting that PTFE (polytetrafluoroethylene) is reported as igniting on this test which would be inconceivable in a flame ignition test.

In all these tests, initial leakage currents are of the order of milliamps.

An additional condition which occurs on high voltage / high current equipment is ignition by power arcs of hundreds or thousands of amperes. Such arcs can generate considerable radiant heat and also molten/flaming droplets. This mode of ignition is usually covered by mode of failure testing on the complete equipment where a fault is deliberately introduced and rated fault currents put through the fault circuit. An example would be IEC 60099-4 [6] on surge arrestors where a power arc cuts through the polymeric housing and may ignite it. The specification allows a maximum afterburn of 2 min.

5.3.3.4 Arc fires in power transformers

Faults in some electrical equipment such as junction boxes and power transformers can result in disruptive electrical discharges (electric arcs) which can pyrolyse insulation materials to produce high temperature combustible gases. Such gases expand rapidly and in contact with air can result in an explosion.

Power transformers which contain oil for insulation are prone to such problems. Recent tests carried out at several high-power laboratories seem to indicate that power transformers larger than 100 MVA are not safe if an internal fault causes a short-circuit. The fault causes the pyrolysis of some of the oil and the production of a gaseous mixture containing saturated hydrocarbons. The pyrolysis reaction generates a rapidly growing quantity of gas at high pressure and temperature inside the transformer, often resulting in the structural failure of the transformer together with a subsequent explosion.

Annex A contains some examples of real accidents caused by arc fires in underground hydroelectric power plants or urban substations.

5.4 Types of test specimen

The test specimen may be a manufactured product, a component of a product, a simulated product (representative of a portion of a manufactured product), materials as specified in the relevant specification (solid or liquid), or a composite of materials.

Variations in the shape, size and arrangement of the test specimen should be limited.

5.5 Test procedure and apparatus

The test procedure should preferably be designed so that the results can be used for hazard analysis. However this may not be necessary in the case of simple tests intended only for quality control or regulatory purposes.

The test apparatus should be able to test the actual electrotechnical product, a simulated product, a material or a composite, as described in 5.4.

The test apparatus should be able to impose a heat flux from an external heat source or from a flame, in an approximately uniform fashion to the test specimen in the region where ignition is intended to occur.

The test apparatus with imposed heat flux should be able to ignite the vapour-air mixture emanating from the test specimen. An electrical spark igniter or a premixed gas-air flame have been found to be suitable.

An air flow rate which is relevant to the fire scenario of concern should be used.

6 Use and interpretation of results

The occurrence of ignition and whether or not there is subsequent sustained burning both depend on a large number of factors as discussed above. It is most important that the selection of variables in a test for ignitability should reflect the nature of the fire scenario that is being considered.

The following parameters can be used for fire safety engineering purposes:

- a) auto ignition temperature,
- b) fire point,
- c) flash point,
- d) ignition temperature,
- e) upper and lower flammability limits, and
- f) thermal inertia.

Determining the difficulty or ease of ignition under a defined set of conditions an important factor of the relative hazard expected in fires of electrotechnical products is assessed. The assessment is based on the principle that the greater the resistance to ignition, the lower the expected hazard. A high resistance to ignition is always desirable.

Annex A (informative)

Examples of accidents due to arc fires in underground hydroelectric power plants or urban substations

A.1 General

Gas explosion accidents in underground hydroelectric power plants or urban substations may occur as a consequence of electric faults in oil-insulated components such as transformers.

An electric arc inside the component causes the pyrolysis of part of the oil, and the gaseous pyrolysis products can then escape from the component to mix with air.

Due to the chemical composition of the mixture, an explosion can occur giving rise to a pressure shock wave which, if not suitably confined by blast-resistant barriers, can propagate through the power plant or substation.

A.2 Examples which are generally available (not an exhaustive list)

A.2.1 Underground hydroelectric power plants

Tonstad, Norway, 1973 - Outside spark-over on the cable porcelain terminal with a flash. Explosion of reactive gases and oil mist: 3 people killed, 1 heavy burn injury.

Bardufoss, Norway, 1975 - Short circuit in the control cable connection to one of the unit. Explosion: heavy damages in the powerhouse.

Roncovalgrande, Italy, 1988 - Ground discharge in the insulator. Explosion of reactive gases and oil mist: damage to equipment and structures.

Skjomen, Norway, 1998 - Material and system defects in the control systems. Explosion and oil fireball: transformer totally damaged.

Aroy, Norway, 2001 - Operational mistake and material weakness in the windings or winding insulation. No explosion or fire.

A.2.2 Urban substations (not an exhaustive list)

Toronto, Canada, 1999 - Toronto Hydro, Windsor Station

Sidney, Australia 1999 - Chatswood substation

Sidney, Australia 2000 - Paddington substation

Chicago, USA 2000 - Chicago downtown

Pittsburgh, USA 2000 - Pittsburgh downtown

Brisbane, Australia 2001 - Tennyson substation

Bibliography

- [1] Van Krevelen, D. W., *Properties of Polymers*, 3rd edn., Elsevier, 1990, p 732.
 - [2] IEC 60112 :2003, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*.
 - [3] EN 3475-603:2002, *Aerospace series. Cables, electrical, aircraft use. Test methods. Resistance to wet arc tracking*.
 - [4] EN 3475-604:2002, *Aerospace series. Cables, electrical, aircraft use. Test methods. Resistance to dry arc propagation*.
 - [5] IEC 60587 :1984, *Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions*.
 - [6] IEC 60099-4 :2004, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*.
 - [7] IEC 60695-11-40, *Fire hazard testing – Part 11-40: Confirmatory test – Guidance*
 - [8] Babrauskas, V., *Ignition Handbook*, Fire Science Publishers, Issaquah, WA (USA), 2003.
 - [9] Beyler, C.L., *Flammability Limits of Premixed and Diffusion Flames*, Section 2, Chapter 9, pp. 2-147 to 2-159 in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association Press, Quincy, MA (USA), 1995.
 - [10] Drysdale, D., *An Introduction to Fire Dynamics*, John Wiley and Sons, New York, N.Y. (USA), Chapters 6 and 7, pp. 186-252, 1985.
 - [11] Hilado, C.J., *Flammability Test Methods Handbook*, Technomic Publishing Co., Inc., Westport, Co (USA), 1973.
 - [12] Kanury, A.M., *Ignition of Liquid Fuels*, Section 2, Chapter 10, pp. 2-160 to 2-170 in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association Press, Quincy, MA (USA), 1995.
 - [13] Kanury, A.M., *Flaming Ignition of Solid Fuels*, Section 2, Chapter 13, pp. 2-190 to 2-204 in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association Press, Quincy, MA (USA), 1995.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
INTRODUCTION	23
1 Domaine d'application	25
2 Références normatives	25
3 Termes et définitions	26
4 Principes de l'allumabilité	29
4.1 Gaz	29
4.1.1 Limites d'inflammabilité	29
4.1.2 Feux d'arcs	30
4.2 Liquides	30
4.2.1 Introduction	30
4.2.2 Paramètres d'allumage	30
4.2.3 Liquides isolants	30
4.3 Solides	30
4.3.1 Introduction	30
4.3.2 Paramètres qui affectent l'allumage	31
4.3.3 Métaux	31
4.3.4 Carbone (graphite) et résidu charbonneux	32
4.3.5 Substances réactives	32
4.3.6 Nuages de poussières	32
5 Considérations pour le choix des méthodes d'essai	32
5.1 Introduction	32
5.2 Scénario feu	33
5.3 Sources d'allumage	33
5.3.1 Sources internes	33
5.3.2 Sources externes	34
5.3.3 Allumage par arc de matériaux	35
5.4 Types d'éprouvettes	36
5.5 Procédure et appareillage d'essai	36
6 Utilisation et interprétation des résultats	37
Annexe A (informative) Exemples d'accidents dus à des feux d'arc dans les postes hydroélectriques souterrains et les sous-stations urbaines	38
Bibliographie	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

**Partie 1-20: Lignes directrices pour l'évaluation
des risques du feu des produits électrotechniques –
Allumabilité – Lignes directrices générales**

AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Dans des circonstances exceptionnelles, un comité d'études peut proposer la publication d'une spécification technique lorsque

- le soutien nécessaire ne peut pas être obtenu pour la publication d'une Norme internationale, en dépit d'efforts répétés, ou
- le sujet est encore en évolution d'un point de vue technique ou, pour toute autre raison, lorsqu'il existe une possibilité dans l'avenir mais pas dans l'immédiat pour un accord sur une Norme internationale.

Les spécifications techniques sont révisées dans les trois années qui suivent leur publication pour décider si elles peuvent être transformées en Normes internationales.

La CEI 60695-1-20, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

Elle a le statut de publication fondamentale de sécurité, conformément au Guide CEI 104 et au Guide ISO/CEI 51.

Le texte de cette spécification technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
89/807/DTS	89/827/RVC

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

La présente spécification technique doit être utilisée conjointement avec la CEI 60695-1-21.

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60695, présentées sous le titre général *Essais relatifs aux risques du feu*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

La partie 1 comprend les parties suivantes:

- Partie 1-10¹: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques– Directives générales
- Partie 1-11¹: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques – Evaluation de dangers
- Partie 1-20: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques – Allumabilité – Guide général
- Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques – Allumabilité – Résumé et pertinence des méthodes d'essais
- Partie 1-30: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques – Utilisation des procédures d'essais de présélection
- Partie 1-40: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques – Liquides isolants

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- transformée en Norme internationale;
- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

¹ A l'étude.

INTRODUCTION

Les feux sont sources de risques pour les être vivants et les biens; ceux-ci résultent de la génération de chaleur (risque thermique) et également de la production d'effluents toxiques, d'effluents corrosifs et de fumée (risque non thermique). Les feux commencent avec l'allumage puis ils peuvent grandir, conduisant dans certains cas à un embrasement éclair et à un feu développé. Pour un matériau, la résistance à l'allumage est donc un des paramètres les plus importants à prendre en compte pour l'évaluation du risque du feu. S'il n'y a pas d'allumage, il n'y a pas de feu.

Pour la plupart des matériaux (autres que les métaux et certains autres éléments), l'allumage se produit en phase gazeuse. L'allumage se produit lorsqu'une vapeur combustible, mélangée à l'air, atteint une température suffisamment élevée pour que les réactions d'oxydation exothermique se propagent rapidement. La facilité avec laquelle l'allumage se produit dépend de la nature chimique de la vapeur, du rapport combustible/air et de la température.

Dans le cas des liquides, la vapeur combustible résulte de la vaporisation du liquide et le processus de vaporisation dépend de la température et de la composition chimique de celui-ci.

Dans le cas des solides, la vapeur combustible est produite par pyrolyse lorsque la température du solide est suffisamment élevée. Le processus de vaporisation dépend de la température et de la composition chimique du solide et également de l'épaisseur, de la densité, de la chaleur spécifique et de la conductivité thermique du solide.

La facilité d'allumage d'une éprouvette dépend de nombreuses variables. Les facteurs qui doivent être pris en compte pour l'évaluation de l'allumabilité sont:

- a) la configuration de l'éprouvette, y compris son épaisseur et la présence de bords, de coins ou de joints;
- b) l'orientation de la surface;
- c) la vitesse et la direction du flux d'air;
- d) la nature et l'emplacement de la source d'allumage;
- e) l'amplitude et l'emplacement de tout éclaircissement énergétique externe; et
- f) la nature du matériau combustible, solide ou liquide.

Lors de la conception de tout produit électrotechnique, il est nécessaire de prendre en compte le risque de feu et les dangers potentiels associés au feu. A cet égard, l'objectif lors de la conception des composants, des circuits et des équipements, ainsi que lors du choix des matériaux est de réduire les risques potentiels d'incendie à des niveaux acceptables même dans le cas d'une utilisation anormale prévisible, d'un mauvais fonctionnement ou d'une défaillance. La CEI 60695-1-10², ainsi que la norme d'accompagnement CEI 60695-1-11², fournissent des lignes directrices sur la façon dont ceci doit être accompli.

Le but premier est de prévenir l'allumage provoqué par un composant sous tension et, dans l'éventualité d'un allumage, de circonscrire le feu qui en résulte à l'intérieur de l'enveloppe du produit électrotechnique.

Parmi les buts secondaires, on peut citer la minimisation de toute propagation de la flamme au-delà de l'enveloppe du produit et la minimisation des effets nuisibles des effluents du feu, y compris la chaleur, les fumées et les produits de combustion toxiques ou corrosifs.

² A l'étude.

Les feux impliquant des produits électrotechniques peuvent également être déclenchés par des sources non électriques externes. De tels cas sont traités dans l'évaluation globale des risques.

La présente spécification technique donne une vue d'ensemble de l'allumabilité et de son importance pour les risques du feu des produits électrotechniques.

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 1-20: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Allumabilité – Lignes directrices générales

1 Domaine d'application

La CEI 60695-1-20 qui est une spécification technique donne des lignes directrices sur l'allumabilité des produits électrotechniques et des matériaux dont ils sont constitués. Elle fournit des lignes directrices sur;

- a) les principes de l'allumabilité,
- b) le choix des méthodes d'essai appropriées, et
- c) l'utilisation et l'interprétation des résultats.

Cette spécification technique est destinée à être utilisée par les comités d'études pour l'établissement de leurs normes conformément aux principes exposés dans le Guide 104 de la CEI et dans le Guide ISO/CEI 51.

L'une des responsabilités d'un comité d'études consiste, le cas échéant, à utiliser les publications fondamentales de sécurité dans le cadre de l'élaboration de ses publications. Les exigences, méthodes d'essai ou conditions d'essai de cette publication fondamentale ne s'appliquent pas sauf si elles sont spécifiquement citées en référence ou incluses dans les publications correspondantes.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60695-1-10, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-10: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Directives générales*³

CEI 60695-1-11, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-11: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Evaluation des risques du feu*³

CEI 60695-1-21, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Allumabilité – Résumé et pertinence des méthodes d'essais*

CEI 60695-2-11, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-11: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'inflammabilité pour produits finis*

CEI 60695-2-12, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-12: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'inflammabilité sur matériaux*

CEI 60695-2-13, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-13: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'allumabilité pour matériaux*

CEI 60695-4:2005, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 4: Terminologie relative aux essais au feu pour les produits électrotechniques*

³ A l'étude.

CEI 60695-8-3, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 8-3: Dégagement de chaleur – Dégagement de chaleur des liquides isolants utilisés dans les produits électrotechniques*⁴

CEI 60695-11-5, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-5: Flammes d'essai – Méthode d'essai au brûleur-aiguille – Appareillage, dispositif d'essai de vérification et lignes directrices*

CEI 60695-11-10, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-10: Flammes d'essai – Méthodes d'essai horizontale et verticale à la flamme de 50 W*

CEI 60695-11-11, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-11: Flammes d'essai – Détermination de l'éclairement énergétique caractéristique d'allumage d'une source de flammes*⁵

CEI 60695-11-20, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-20: Flammes d'essai – Méthodes d'essai à la flamme de 500 W*

Guide CEI 104:1997, *Rédaction des publications de sécurité et utilisation des publications fondamentales de sécurité et des publications avec fonction groupée de sécurité*

Guide ISO/CEI 51:1999, *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*

EN 14522, *Détermination de la température d'auto-allumage des gaz et des vapeurs*

ISO/CEI 13943:2000, *Sécurité au feu – Vocabulaire*

ISO 871, *Plastiques – Détermination de la température d'allumage au moyen d'un four à air chaud*

ISO 2592, *Détermination des points d'éclair et de feu – Méthode Cleveland à vase ouvert*

ISO 2719, *Produits pétroliers et lubrifiants – Détermination du point d'éclair – Méthode Pensky-Martens en vase clos*

ISO 5657, *Essais de réaction au feu – Allumabilité des produits de bâtiment avec une source de chaleur rayonnante*

ISO 10840, *Plastiques – Lignes directrices pour l'utilisation d'essais au feu normalisés*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

température d'auto-allumage

température la plus basse (d'une surface chaude) à laquelle se produit l'allumage d'un gaz inflammable, d'une vapeur inflammable mélangée à l'air ou à un mélange air/gaz inerte, dans des conditions d'essai spécifiées

[EN 14522, définition 3.1]

3.2

combustion

réaction exothermique d'une substance avec un comburant

NOTE La combustion émet généralement des effluents accompagnés de flammes et/ou d'incandescence.

[ISO/CEI 13943:2000, définition 23]

⁴ A publier.

⁵ A l'étude.

3.3

feu; incendie

- a) *feu*: combustion caractérisée par une émission de chaleur et d'effluents accompagnée de fumée et/ou de flammes et/ou d'incandescence;
- b) *incendie*: combustion rapide qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace

[CEI 60695-4, définition 3.19]

3.4

danger du feu

⟨cause de l'incendie⟩ objet physique ou condition avec possibilité de conséquence indésirable liée au feu

3.5

point feu

température minimale à laquelle un matériau soumis à une petite flamme normalisée présentée à sa surface dans des conditions spécifiées prend feu et continue à brûler pendant un temps spécifié

NOTE 1 Il est exprimé en degrés Celsius.

NOTE 2 Dans certains pays, le terme anglais "fire point" (en français "point feu") a aussi une autre signification: il désigne un emplacement où le matériel de lutte contre l'incendie est placé et qui peut comprendre aussi un point d'appel d'alarme incendie et les instructions à suivre en cas d'incendie.

[ISO/CEI 13943:2000, définition 53]

3.6

ignifuge (substantif)

substance ajoutée ou traitement appliqué à un matériau pour supprimer, réduire ou retarder sensiblement la combustion du matériau

[CEI 60695-4:2005, définition 3.31]

3.7

scénario feu

description détaillée des conditions, y compris de l'environnement, dans lesquelles se déroulent une ou plusieurs des étapes d'un feu réel à un emplacement spécifique ou d'une simulation à pleine échelle, depuis la situation avant l'allumage jusqu'à la fin de la combustion

[CEI 60695-4:2005, définition 3.32]

3.8

flamme (substantif)

zone de combustion en phase gazeuse généralement avec émission de lumière

[ISO/CEI 13943:2000, définition 60]

3.9

retardateur de flamme ou ignifugeant (substantif)

substance ajoutée ou traitement appliqué à un matériau pour supprimer ou retarder l'apparition d'une flamme et/ou diminuer sa vitesse de propagation

NOTE L'utilisation d'ignifugeant ou de retardateur de flamme ne supprime pas nécessairement le feu.

[ISO/CEI 13943:2000, définition 65]

3.10

combustion avec flamme

combustion en phase gazeuse, généralement accompagnée d'émission de lumière

[ISO/CEI 13943:2000, définition 72]

3.11

température d'allumage éclair (Flash-Ignition Temperature – FIT)

température minimale à laquelle, dans des conditions d'essai spécifiées, des gaz inflammables suffisants sont émis pour s'enflammer momentanément dès l'application d'une flamme pilote

[ISO 871, définition 3.1]

3.12

embrasement éclair; flash-over

passage brusque à l'état de combustion généralisée en surface de l'ensemble des matériaux combustibles dans un espace fermé

[CEI 60695-4:2005, définition 3.42]

3.13

point d'éclair

température minimale à laquelle il faut porter un produit pour que les vapeurs émises s'allument momentanément en présence d'une flamme, dans des conditions d'essai spécifiées

NOTE Exprimé en °C.

[CEI 60695-4:2005, définition 3.43]

3.14

feu développé

état de combustion généralisé avec flamme de l'ensemble des matériaux combustibles au cours d'un incendie

[ISO/CEI 13943:2000, définition 80]

3.15

combustion incandescente

combustion d'un matériau en phase solide, sans flamme mais avec émission de lumière émanant de la zone de combustion

[ISO/CEI 13943:2000, définition 84]

3.16

allumabilité

mesure de la facilité avec laquelle un objet peut être allumé dans des conditions spécifiées

[ISO/CEI 13943, définition 91]

3.17

allumage

action d'allumer

NOTE Le terme « ignition » a, en français, un sens très différent [état d'un corps en combustion].

[ISO/CEI 13943:2000, définition 96]

3.18

source d'allumage

source d'énergie qui provoque une combustion

[ISO/CEI 13943:2000, définition 97]

3.19

température (minimale) d'allumage

température (minimale) d'un matériau ou d'une source d'allumage à laquelle peut commencer une combustion soutenue dans des conditions d'essais spécifiées, telle que défini dans la méthode d'essai

NOTE L'allumage requiert un volume suffisant de gaz inflammable et d'oxydant (air). La combustion soutenue requiert un taux suffisant de production de gaz inflammable. La température minimale d'allumage implique une contrainte thermique de durée infinie. Pour des raisons pratiques, il convient que la norme définisse de façon appropriée la température minimale d'allumage.

[CEI 60695-4:2005, définition 3.51]

3.20

limite d'inflammabilité basse (Lower Flammability Limit – LFL)

concentration la plus faible de substance inflammable dans l'air dans laquelle une flamme autopropagatrice peut apparaître

3.21

température d'allumage spontané (Spontaneous Ignition Temperature – SIT)

température minimale à laquelle l'allumage est obtenu par chauffage dans des conditions d'essai spécifiées en l'absence de toute flamme source d'allumage auxiliaire

[ISO 871, définition 3.2]

3.22

inertie thermique

produit de la conductivité thermique, de la densité et de la capacité thermique spécifique

NOTE 1 Lorsqu'un matériau est exposé à un éclaircissement énergétique, la vitesse avec laquelle la température de surface augmente dépend fortement de la valeur de l'inertie thermique du matériau. La température de surface d'un matériau à faible inertie thermique augmente relativement rapidement lorsqu'il est chauffé et vice versa.

NOTE 2 Les unités types sont $J^2 \cdot s^{-1} \cdot m^{-4} \cdot K^{-2}$.

3.23

limite d'inflammabilité haute (Upper Flammability Limit – UFL)

concentration la plus élevée de substance inflammable dans l'air dans laquelle une flamme autopropagatrice peut apparaître

4 Principes de l'allumabilité

4.1 Gaz

L'allumage d'un gaz dépend de la manière dont celui-ci est mélangé à l'air. Si le gaz est mélangé à l'air avant l'allumage, la réaction est connue sous le terme de combustion à pré-mélange. Dans un brûleur, la combustion est contrôlée mais si un volume important de gaz/mélange d'air est allumé, il en résulte une explosion de gaz.

Dans la plupart des feux, l'allumage donne lieu au développement de flammes de diffusion là où le gaz combustible entre en contact avec l'air sans avoir été mélangé au préalable.

Les mélanges de gaz peuvent être allumés principalement de deux manières:

- a) auto-allumage – lorsque la température de tous les mélanges gazeux est augmentée, et
- b) allumage piloté – lorsqu'une source locale de chaleur est introduite, par exemple une flamme ou une étincelle électrique.

Certains feux sont le résultat de l'allumage d'un matériau qui est déjà à l'état gazeux mais les gaz combustibles peuvent également être produits par la vaporisation de liquides (voir 4.2) ou par la pyrolyse de solides (voir 4.3).

4.1.1 Limites d'inflammabilité

Il ne peut pas y avoir de propagation de la flamme dans un mélange gazeux combustible/air si la concentration en combustible est trop faible ou trop élevée. Les valeurs limites de concentration sont connues sous les termes de limite d'inflammabilité basse (lower flammability limit - LFL) et de limite d'inflammabilité haute (upper flammability limit - UFL). Ces limites existent parce que les flammes ont besoin d'une température minimale pour exister. Une quantité trop importante d'air ou de combustible empêche le maintien de la température à un niveau suffisamment élevé. Les limites d'inflammabilité sont normalement exprimées par le pourcentage en volume du combustible dans le mélange combustible/air.

4.1.2 Feux d'arcs

Les défauts qui apparaissent à l'intérieur de certains équipements électriques comme les boîtes de dérivation et les transformateurs de puissance peuvent donner lieu à des décharges électriques disruptives (arcs électriques) qui peuvent entraîner une pyrolyse des matériaux isolants avec production de gaz combustibles à température élevée. De tels gaz de dilatent rapidement et, au contact de l'air, ils peuvent donner lieu à une explosion (voir 5.3.3.4)

4.2 Liquides

4.2.1 Introduction

Généralement, les liquides ne s'enflamment pas à l'exception de certaines substances instables ou réactives. Normalement, ce sont les vapeurs combustibles qui s'enflamment. La vapeur combustible résulte de la vaporisation du liquide et le processus de vaporisation dépend de la température et de la composition chimique de celui-ci.

4.2.2 Paramètres d'allumage

La température est normalement utilisée pour définir l'allumabilité d'un liquide. Trois températures différentes sont utilisées. Il s'agit de la température d'auto-allumage (voir 3.1), du point feu (voir 3.5) et du point d'éclair (voir 3.13). L'auto-allumage fait référence à l'allumage en l'absence de source de chaleur localisée. Le point d'éclair concerne l'allumage momentané. Le point feu concerne la combustion persistante après allumage.

Plusieurs méthodes d'essai différentes sont utilisées pour mesurer ces températures caractéristiques. La température mesurée dépend des détails spécifiques de l'appareillage d'essai utilisé. C'est pourquoi il est important de définir la méthode d'essai lorsqu'on indique ces paramètres.

4.2.3 Liquides isolants

4.2.3.1 Mesure du point d'éclair

L'ISO 2719 (Méthode Pensky-Martens en vase clos) est citée dans les normes CEI pour la mesure du point d'éclair des liquides isolants. Elle mesure le point d'éclair dans un espace confiné et elle est destinée à détecter des quantités mineures de matériau volatil. Une méthode alternative est donnée par l'ISO 2592 (Méthode Cleveland à vase ouvert) qui est utilisée pour mesurer le point d'éclair au-dessus d'une surface de liquide ouverte. Le point d'éclair mesuré par l'ISO 2592 est bien plus faible que celui mesuré par l'ISO 2719.

4.2.3.2 Mesures avec un calorimètre conique

La CEI 60695-8-3 est destinée à mesurer la quantité de chaleur qui se dégage des liquides isolants lorsqu'ils brûlent. L'éprouvette est exposée à un éclairage énergétique uniforme en présence d'une source d'allumage pilotée. Les propriétés liées à l'allumage peuvent être définies par le temps avant allumage avec un éclairage énergétique spécifié ou par l'éclairage énergétique incident minimal qui supportera l'allumage.

4.3 Solides

4.3.1 Introduction

Généralement, à quelques exceptions près (indiquées ci-dessous), les solides ne s'enflamment pas. Normalement, ce sont les vapeurs combustibles qui s'enflamment. La vapeur combustible résulte de la pyrolyse du solide et le processus de vaporisation dépend de la température et de la composition chimique de celui-ci.

Les exceptions à cette règle générale sont les suivantes:

- les métaux (voir 4.3.3);
- certains autres éléments non métalliques, par exemple le carbone (voir 4.3.4), le soufre et le phosphore;
- certaines substances réactives (voir 4.3.5); et
- les nuages de poussières (voir 4.3.6).

4.3.2 Paramètres qui affectent l'allumage

Dans le cas d'un solide, la génération de matières volatiles inflammables provenant du matériau dépend de la température de celui-ci. Ceci dépend de la nature de l'apport de chaleur qui peut, par exemple, être un éclaircissement énergétique rayonnant, par convection, par conduction, une flamme superposée, un fil chauffant ou une combinaison de ces sources.

La facilité avec laquelle l'allumage se produit dépendra également de la nature chimique des matières volatiles inflammables qui à leur tour dépendront de la nature chimique du solide.

La vitesse d'échauffement du matériau dépend d'un certain nombre de propriétés du solide:

- a) épaisseur;
- b) conductivité thermique, (k);
- c) densité, (ρ);
- d) chaleur spécifique, (c);
- e) absorptivité (dans le cas d'un échauffement radiatif).

Dans une éprouvette épaisse, le matériau qui se trouve sous la surface est capable de dissiper la chaleur, ce qui réduit ainsi la vitesse d'échauffement de la surface et augmente la résistance à l'allumage. Dans une éprouvette de faible épaisseur, ceci est impossible et la résistance à l'allumage est donc inférieure.

Cette règle générale ne s'applique cependant pas à la plupart des matériaux thermoplastiques. Ceux-ci ont tendance à fondre à côté de la source de chaleur (par exemple flamme ou fil chauffant) ce qui a souvent pour résultat une absence d'allumage. Ceci peut laisser penser à tort qu'ils présentent une résistance élevée à l'allumage. Compte tenu de ce comportement particulier, il convient d'accorder une attention particulière aux essais d'allumabilité des thermoplastiques. Les problèmes qui peuvent apparaître lors des essais au feu normalisés des thermoplastiques sont traités dans l'ISO 10840.

Le produit, $k\rho c$, est connu comme étant l'« inertie thermique ». Si l'inertie thermique est élevée, par exemple dans le cas d'un métal solide, la vitesse d'échauffement de la surface sera relativement faible et par conséquent il faudra une durée relativement longue pour atteindre la température d'allumage. Si l'inertie thermique est faible, par exemple dans le cas de certains plastiques alvéolaires ou matériaux combustibles à faible densité, la vitesse d'échauffement de la surface sera relativement élevée et par conséquent il faudra une durée relativement courte pour atteindre la température d'allumage.

Après l'allumage de l'éprouvette, la propagation des flammes interviendra si la flamme transfère un éclaircissement énergétique suffisant, essentiellement sous forme de rayonnement thermique, à l'avant du front de pyrolyse de manière à continuer la pyrolyse et l'allumage à une vitesse suffisante.

L'amplitude de l'éclaircissement énergétique transféré à l'avant du front de pyrolyse dépend du débit calorifique de l'éprouvette et de l'existence éventuelle d'un éclaircissement énergétique imposé permanent, alors que la résistance à l'allumage dépend de la température d'allumage minimale de l'éprouvette et de la vitesse d'échauffement de la surface.

4.3.3 Métaux

Lorsqu'un métal se consume à l'air, le produit de sa combustion est un oxyde métallique. De nombreux métaux possèdent en surface une couche d'oxyde métallique qui se forme par oxydation à faible température. La couche d'oxyde ne peut pas se consumer car elle est déjà le produit de l'oxydation du métal, ainsi avant que la masse du métal puisse se consumer, il faut que la couche de surface ait été retirée d'une manière ou d'une autre.

Les métaux peuvent être classés en trois groupes en fonction de leurs caractéristiques d'allumage.

- a) Les métaux qui se mettent à brûler à la valeur de leur point de fusion ou à une valeur inférieure (par exemple, le fer et le magnésium). Tous ces métaux ont des points de fusion

supérieurs à 650 °C. En général, ces métaux ne forment pas de couche d'oxyde de protection.

- b) Les métaux qui se mettent à brûler après avoir fondu (par exemple, l'aluminium, le plomb, l'étain et le zinc). Tous ces métaux ont des points de fusion inférieurs à 660 °C. En général, ces métaux forment une couche d'oxyde de protection.
- c) Les métaux à faible réactivité qui ne brûlent pas (par exemple, le mercure, l'argent, l'or et le platine).

La facilité avec laquelle l'allumage intervient dépend aussi du rapport surface/volume du métal. Les couches de métal de faible épaisseur et les poudres fines sont bien plus faciles à enflammer que les pièces massives de métal. Ceci est dû au fait que la chaleur dégagée par le processus d'oxydation est proportionnelle à la surface qui brûle alors que l'écoulement initial de chaleur de la surface par conduction est proportionnel au volume du métal.

4.3.4 Carbone (graphite) et résidu charbonneux

4.3.4.1 Graphite

Du carbone pur sous la forme de graphique peut s'enflammer dans l'air à une température supérieure à environ 800 °C. Dans la plage de 800 °C à 1 200 °C, il apparaît une combustion superficielle sans flammes (combustion incandescente). Au-delà de 1 200 °C environ, une combustion avec flammes apparaît avec observation d'une flamme CO.

4.3.4.2 Résidu charbonneux

Les résidus charbonneux sont des formes impures de carbone. La teneur en substances volatiles et la porosité sont deux variables importantes qui contribuent à la gamme étendue des températures d'allumage observées. Comme dans le cas du graphique, des combustions avec ou sans flammes peuvent être observées. De nombreux matériaux contenant du carbone tendent à former un résidu charbonneux à leur surface lorsqu'ils brûlent et, aux premiers stades du feu, cette couche de résidu charbonneux peut, dans une certaine mesure, protéger le matériau qui se trouve en dessous d'elle. Une corrélation a été observée entre la résistance à l'allumage, telle qu'elle est mesurée en limitant l'indice d'oxygène, et la production de résidus pour une gamme de polymères organiques [1]⁶.

4.3.5 Substances réactives

Dans la plupart des feux, l'agent oxydant est l'oxygène de l'air. Toutefois, dans certains matériaux, l'agent oxydant, généralement l'oxygène, fait partie de la structure moléculaire du matériau ou il est mélangé au combustible solide sous la forme d'un agent oxydant solide. Ces matériaux sont généralement délibérément fabriqués pour être combustibles et explosifs. On peut donner les exemples d'illustration suivants:

- le « papier à bleus » (cellulose et nitrate de potassium);
- la poudre (carbone, soufre et nitrate de potassium);
- les cigarettes (tabac et nitrate de potassium);
- le TNT (trinitrotoluène).

4.3.6 Nuages de poussières

Les nuages de poussières sont des aérosols solides; il s'agit de suspensions de petites particules solides dans l'air ou d'autres gaz et leur comportement d'allumage est plus proche de celui d'un gaz à pré-mélange que de celui d'un solide.

5 Considérations pour le choix des méthodes d'essai

5.1 Introduction

Des facteurs importants à prendre en compte lors du choix de la méthode d'essai à utiliser incluent le ou les scénarios feu concernés, les sources d'allumage possibles, le type d'éprouvette et le type de procédure et d'appareillage d'essai.

⁶ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

5.2 Scénario feu

Il convient que la ou les méthodes d'essai choisies soient appropriées au scénario feu considéré. Les paramètres importants à prendre en compte comprennent:

- a) la configuration de l'éprouvette, y compris son épaisseur et la présence de bords, de coins ou de joints;
- b) toute anisotropie;
- c) l'orientation de la surface;
- d) la vitesse et la direction du flux d'air;
- e) la nature et l'emplacement de la source d'allumage;
- f) l'amplitude et l'emplacement de tout éclaircissement énergétique externe; et
- g) la nature du matériau inflammable, solide ou liquide.

5.3 Sources d'allumage

Il convient que la source d'allumage utilisée dans un essai de laboratoire soit adaptée au scénario feu considéré. Dans le cas du risque de feu des équipements électrotechniques, deux types de source d'allumage sont importants:

- a) à partir d'une localisation inhabituelle de sources internes de chaleur ohmique dans des équipements électrotechniques et des appareillages;
- b) à partir de sources de flammes ou de chaleur excessive qui sont externes aux équipements électrotechniques et aux appareillages.

Dans les deux cas, un type possible d'allumage spécifique aux équipements électrotechniques est l'allumage par arc. Ce cas est examiné en 5.3.3.

5.3.1 Sources internes

Si la source d'allumage à évaluer se trouve à l'intérieur d'un produit ou est située à l'intérieur d'un composant ou d'un appareillage, des méthodes d'essai adaptées sont celles qui peuvent simuler la surchauffe causée par:

- a) les parties métalliques internes (par exemple contacts électriques, conducteurs, etc.);
- b) une petite flamme avec un faible transfert de chaleur causé par la combustion qui a commencé à l'intérieur du produit ou à l'intérieur du composant ou de l'appareillage en cours d'évaluation;
- c) des arcs électriques (voir 5.3.3).

Les méthodes d'essai suivantes peuvent être utilisées, selon ce qui est approprié, pour mesurer et décrire les propriétés d'un matériau, d'un produit, d'un composant ou d'un appareillage en réponse à la chaleur et/ou à la flamme dans des conditions de laboratoire contrôlées.

L'ISO 871 spécifie une méthode de laboratoire pour déterminer la température d'allumage éclair et la température d'allumage spontané des plastiques au moyen d'un four à air chaud. Il s'agit d'une méthode parmi d'autres utilisées pour l'évaluation de la résistance des plastiques aux effets des sources d'allumage.

Les méthodes d'essai au fil incandescent (CEI 60695-2-11, CEI 60695-2-12 et CEI 60695-2-13) simulent la première cause d'allumage due à la surchauffe par contact avec une partie chauffée sans flamme ouverte.

La CEI 60695-2-11 (GWT) s'applique aux composants ou aux appareillages uniquement. Elle fournit une évaluation qualitative du comportement d'allumage et, au-delà de la température d'allumage minimale, elle donne un critère d'acceptation/de refus en évaluant la durée de combustion dans des conditions de température spécifiées.

La CEI 60695-2-12 (GWFI) et la CEI 60695-2-13 (GWIT) sont adaptées à la pré-sélection des matériaux isolants. L'essai GWFI est conçu pour évaluer la température maximale à laquelle

un matériau, lorsqu'il est allumé, a une durée limitée de combustion sans étendre le feu à partir de l'éprouvette. L'essai GWIT est conçu pour évaluer la résistance à l'allumage en mesurant la température d'allumage minimale.

La CEI 60695-11-5 est adaptée pour simuler l'allumage par une petite flamme. Elle est applicable aux équipements électrotechniques, à leurs sous-ensembles et à leurs composants et aux matériaux isolants électriques solides ou à d'autres matériaux combustibles. Cet essai évalue l'allumabilité d'une éprouvette donnée et mesure sa capacité d'autoextinguibilité.

La CEI 60695-11-10 et la CEI 60695-11-20 présentent chacune une méthode d'essai légèrement différente. L'une et l'autre de ces méthodes d'essai implique un contact direct de la flamme sur la surface de l'éprouvette d'essai. Les matériaux sont évalués en fonction de la durée du temps mis pour brûler (ou se consumer) après avoir enlevé la flamme d'essai et si des gouttelettes enflammées se sont produites ou non. Dans la CEI 60695-11-10, une flamme de 50 W est utilisée alors que dans la CEI 60695-11-20 la flamme d'essai est dix fois plus large et le temps d'application est plus long. Dans les deux cas, les méthodes d'essai fournissent des systèmes de classification qui peuvent être utilisés pour l'assurance qualité, ou la pré-sélection des matériaux du composant des produits.

NOTE Les domaines d'application de la CEI 60695-11-10 et de la CEI 60695-11-20 ne se rapportent pas à la simulation d'un allumage soit interne soit externe.

La CEI 60695-11-11 est adaptée pour simuler l'allumage par l'éclairement énergétique à partir d'une petite flamme qui n'est pas en contact.

5.3.2 Sources externes

Si la source d'allumage en évaluation est située à l'extérieur de l'équipement électrotechnique, les méthodes d'essai adaptées sont celles qui peuvent simuler la contrainte thermique causée par:

- a) l'impact direct d'une flamme ouverte sur la surface de l'équipement;
- b) le contact direct d'une contrainte thermique élevée (partie métallique surchauffée) sur la surface de l'équipement;
- c) l'éclairement énergétique thermique indirect
 - i) par rayonnement,
 - ii) par convection,
- d) des arcs électriques (voir 5.3.3).

Les méthodes décrites en 5.3.1 peuvent également être utilisées pour simuler un allumage externe ainsi qu'un allumage interne. La différence est l'emplacement d'application de la contrainte thermique. La CEI 60695-11-5, qui simule l'allumage par une petite flamme (voir 5.3.1) est désormais acceptée pour évaluer les sources d'allumage externes comme les flammes de bougie ouvertes ⁷.

Des méthodes d'essai supplémentaires pourraient être:

la CEI 60695-11-10 et la CEI 60695-11-20 – Ces deux méthodes d'essai mettent en œuvre le contact direct d'une flamme ouverte sur la surface de l'éprouvette.

NOTE Les domaines d'application de ces normes ne font pas référence à la simulation de l'allumage interne ni de l'allumage externe.

Les matériaux sont caractérisés en fonction de leur durée de combustion (ou d'incandescence) après le retrait de la flamme d'essai et de la production éventuelle de gouttelettes enflammées. Dans la CEI 60695-11-10, on utilise une flamme d'essai de 50 W. Dans la CEI 60695-11-20, la flamme d'essai est dix fois plus importante et la durée d'application de la flamme est plus longue. Dans les deux cas, la méthode d'essai donne des

⁷ Voir la CEI/TS 62441.

systèmes de classification qui peuvent être utilisés pour l'assurance de la qualité ou pour la présélection de matériaux de composants des produits.

L'éclairement énergétique indirect, provenant d'un objet en train de se consumer à proximité, peut être évalué par les méthodes de débit calorifique suivantes.

La CEI 60695-11-11 (voir 5.3.1) simule l'allumage causé par l'éclairement énergétique à partir d'une petite flamme qui n'est pas en contact.

Dans l'ISO 5657, il s'agit d'une méthode d'essai à échelle réduite qui est normalement utilisée pour évaluer les matériaux plutôt que les produits. Toutefois, si la taille du produit est inférieure à 100 mm, il peut être soumis aux essais directement. L'éprouvette est chauffée avec un appareil conique chauffant à résistance électrique et après allumage, le débit calorifique est mesuré.

5.3.3 Allumage par arc de matériaux

5.3.3.1 Allumage par arc de gaz

L'allumage par un arc d'un gaz inflammable nécessite une énergie minimale. Cette propriété est exploitée par exemple dans les câbles « à sécurité intrinsèque ». La tension et l'inductance de ces câbles limitent l'énergie des étincelles qui pourraient être causées par des courts-circuits ou des relais à une valeur inférieure à celle qui pourrait causer l'allumage. Des principes similaires sont utilisés dans la spécification des tensions et des courants des câbles utilisés dans les réservoirs de combustible.

Pour allumer un gaz inflammable ou un mélange aérosol, on utilise normalement une source à haute tension pour alimenter une bougie ou un dispositif d'allumage comme dans les chaudières à gaz ou à mazout.

5.3.3.2 Allumage par arc des liquides

En général, un liquide doit être volatilisé pour qu'un allumage par arc se produise. On peut donner comme exemple un arc à haute tension brûlant à la surface de séparation entre l'air et le liquide que constitue l'huile d'un transformateur. Un transfert de chaleur rayonnante peut facilement générer une température suffisamment élevée dans le liquide pour que celui-ci s'évapore et s'allume. Il est fortement recommandé d'exclure cette possibilité au stade de la conception.

5.3.3.3 Allumage par arc des solides

L'allumage par arc d'un solide, que ce soit dans des conditions sèches ou humides, peut être causé par toute combinaison de courant ou de tension de faible ou de forte valeur. Il existe plusieurs essais pour évaluer à la fois les matériaux et les produits finis dans des conditions appropriées.

La méthode d'essai de la CEI 60112 [2] est utilisée pour évaluer le cheminement sur les matériaux jusqu'à 600 V.

NOTE La CEI 60112 ne constitue pas un essai d'allumabilité, mais si l'allumage intervient et qu'il donne lieu à des flammes persistantes pendant la durée de l'essai, cet essai est considéré comme un échec.

Les méthodes d'essai de la EN 3475-603 [3] et de la EN 3475-60 [4] sont destinées aux fils utilisés dans l'industrie aéronautique et elles simulent une propagation d'arc dans les câblages électriques en conditions sèches et en conditions humides. Des arcs de court-circuit momentanés entre un fil isolé présentant un défaut et un autre conducteur peuvent, par échauffement ohmique, déclencher la pyrolyse du matériau isolant et le carboniser. L'isolation carbonisée étant conductrice, elle peut soutenir l'arc de court-circuit. L'arc persistant peut se propager le long du fil par pyrolyse continue de l'isolation (cheminement d'arc). Si le fil à l'origine de l'arc fait partie d'un faisceau de plusieurs fils, l'isolation des autres fils du faisceau peut être carbonisée thermiquement et commencer aussi à produire un cheminement d'arc. C'est pourquoi le cheminement d'arc peut conduire à une défaillance complète d'un faisceau entier de fils.

Pour les courants peu élevés/les hautes tensions, l'essai de cheminement dans des conditions humides sur plan incliné de la CEI 60587 [5] constitue un protocole adapté et il convient de noter que le PTFE (polytétrafluoroéthylène) est indiqué comme capable d'allumer dans cet essai ce qui serait inconcevable dans un essai d'allumage à la flamme.

Dans tous ces essais, les courants de fuite initiaux sont de l'ordre du milliampère.

Une condition supplémentaire qui apparaît sur les équipements à haute tension à valeur élevée de courant est l'allumage par des arcs de puissance de centaines ou de milliers d'ampères. De tels arcs peuvent générer une chaleur rayonnante considérable et également des gouttelettes fondues/enflammées. Ce mode d'allumage est généralement couvert par les essais de mode de défaillance sur l'équipement complet lorsqu'un défaut est délibérément introduit et que des courants de défaut assignés circulent dans le circuit en défaut. Un exemple pourrait être la CEI 60099-4 [6] applicable aux parafoudres dans laquelle un arc de puissance coupe à travers le boîtier en matériau polymère et peut l'enflammer. Cette spécification permet une combustion résiduelle maximale de 2 min.

5.3.3.4 Feux dus à des arcs dans les transformateurs de puissance

Les défauts qui apparaissent à l'intérieur de certains équipements électriques comme les boîtes de dérivation et les transformateurs de puissance peuvent donner lieu à des décharges électriques disruptives (arcs électriques) qui peuvent entraîner une pyrolyse des matériaux isolants avec production de gaz combustibles à température élevée. De tels gaz se dilatent rapidement et, au contact de l'air, ils peuvent donner lieu à une explosion.

Les transformateurs de puissance qui contiennent de l'huile pour leur isolation présentent de tels problèmes. Des essais récents effectués dans plusieurs laboratoires étudiant la haute puissance semblent indiquer que les transformateurs de puissance supérieurs à 100 MVA ne sont pas sûrs si un défaut interne cause un court-circuit. Le défaut provoque la pyrolyse d'une partie de l'huile et la production d'un mélange gazeux contenant des hydrocarbures saturés. La réaction de pyrolyse génère une quantité rapidement croissante de gaz à haute pression et température élevée à l'intérieur du transformateur, donnant souvent lieu à la défaillance de structure du transformateur ce qui entraîne une explosion.

L'Annexe A mentionne plusieurs exemples d'accidents réels causés par des feux d'arc dans des postes hydroélectriques souterrains ou des sous-stations urbaines.

5.4 Types d'éprouvettes

L'éprouvette peut être un produit manufacturé, un composant d'un produit, un produit simulé (représentant une partie d'un produit manufacturé), des matériaux comme stipulés dans la spécification applicable (solides ou liquides) ou un composite de plusieurs matériaux.

Il convient de limiter les variations de forme, de taille et de disposition de l'éprouvette.

5.5 Procédure et appareillage d'essai

Il convient que la procédure d'essai soit conçue de préférence de telle manière que les résultats puissent être utilisés pour l'analyse de risque. Toutefois, ceci peut ne pas être nécessaire dans le cas des essais simples destinés uniquement au contrôle de la qualité ou à des fins réglementaires.

Il convient que l'appareillage d'essai soit capable de soumettre aux essais le produit électrotechnique réel, un produit simulé, un matériau ou un composite, comme cela est décrit en 5.4.

Il convient que l'appareillage d'essai soit capable d'imposer un éclaircissement énergétique venant d'une source externe de chaleur ou d'une flamme, de manière à peu près uniforme, sur l'éprouvette dans la zone où l'allumage est censé intervenir.

Il convient que l'appareillage d'essai à éclaircissement énergétique imposé soit capable d'allumer le mélange gaz-air provenant de l'éprouvette. Un dispositif d'allumage électrique ou une flamme gaz/air à pré-mélange sont considérés comme satisfaisants.

Il convient d'utiliser un débit d'air adapté au scénario feu étudié.

6 Utilisation et interprétation des résultats

Le phénomène d'allumage et la combustion soutenue qui peut en découler dépendent d'un grand nombre de facteurs qui ont été examinés ci-dessus. Il est de la plus haute importance que le choix des variables d'un essai d'allumabilité reflète la nature du scénario feu étudié.

Les paramètres suivants peuvent être utilisés en ingénierie de sécurité incendie:

- a) température d'auto-allumage,
- b) point feu,
- c) point d'éclair,
- d) température d'allumage,
- e) limites d'inflammabilité basse et haute, et
- f) inertie thermique.

Un facteur important du risque relatif attendu dans les feux des produits électrotechniques est évalué par la détermination de la difficulté ou de la facilité d'allumage dans un ensemble de conditions définies. L'évaluation est fondée sur le principe selon lequel le risque est d'autant plus faible que la résistance à l'allumage est élevée. Une résistance élevée à l'allumage est toujours souhaitable.

Annexe A (informative)

Exemples d'accidents dus à des feux d'arc dans les postes hydroélectriques souterrains et les sous-stations urbaines

A.1 Généralités

Les accidents avec explosion de gaz dans les postes hydroélectriques souterrains ou les sous-stations urbaines peuvent se produire à la suite de défauts électriques dans des composants isolés avec de l'huile comme les transformateurs.

Un arc électrique à l'intérieur du composant provoque la pyrolyse d'une partie de l'huile et les produits gazeux de la pyrolyse peuvent ensuite s'échapper du composant et se mélanger à l'air.

Compte tenu de la composition chimique du mélange, une explosion peut se déclencher en donnant lieu à un choc de pression qui, s'il n'est pas convenablement confiné par des barrières antidéflagrantes, peut se propager dans le poste ou la sous-station.

A.2 Exemples généralement disponibles (liste non exhaustive)

A.2.1 Postes hydroélectriques souterrains

Tonstad, Norvège, 1973 – Amorçage extérieur sur la borne en porcelaine d'un câble avec un éclair. Explosion des gaz réactifs et du nuage d'huile: 3 personnes tuées, 1 gravement brûlée.

Bardufoss, Norvège, 1975 – Court-circuit dans le raccordement du câble de commande d'une unité. Explosion: dommages importants dans la centrale.

Roncovalgrande, Italie, 1988 – Décharge vers la terre dans l'isolateur. Explosion des gaz réactifs et du nuage d'huile: dommages pour les équipements et les structures.

Skjomen, Norvège, 1998 – Défauts de matériau et de système dans les systèmes de commande. Explosion et boule de feu de l'huile: transformateur totalement endommagé.

Aroy, Norvège, 2001 – Erreur opérationnelle et faiblesse des matériaux dans les enroulements ou l'isolation des enroulements. Ni explosion ni feu.

A.2.2 Sous-stations urbaines (liste non exhaustive)

Toronto, Canada, 1999 - Toronto Hydro, Windsor Station

Sydney, Australie 1999 - Chatswood substation

Sydney, Australie 2000 - Paddington substation

Chicago, USA 2000 - Chicago downtown

Pittsburgh, USA 2000 - Pittsburgh downtown

Brisbane, Australie 2001 - Tennyson substation

Bibliographie

- [1] Van Krevelen, D. W., *Properties of Polymers*, 3rd edn., Elsevier, 1990, p 732.
 - [2] CEI 60112:2003, *Méthode de détermination des indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides*.
 - [3] EN 3475-603:2002, *Série aérospatiale. Câbles électriques à usage aéronautique. Méthodes d'essai. Résistance à l'amorçage et à la propagation d'arc électrique, essai humide*.
 - [4] EN 3475-604:2002, *Série aérospatiale. Câbles électriques à usage aéronautique. Méthodes d'essai. Résistance à l'amorçage et à la propagation d'arc électrique, essai à sec*.
 - [5] CEI 60587:1984, *Méthode d'essai pour évaluer la résistance au cheminement et à l'érosion des matériaux isolants électriques utilisés dans des conditions ambiantes sévères*.
 - [6] CEI 60099-4:2004, *Parafoudres – Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour réseaux à courant alternatif*.
 - [7] CEI 60695-11-40, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-40: Essai de confirmation – Guide*
 - [8] Babrauskas, V., *Ignition Handbook*, Fire Science Publishers, Issaquah, WA (USA), 2003.
 - [9] Beyler, C.L., *Flammability Limits of Premixed and Diffusion Flames*, Section 2, Chapter 9, pp. 2-147 to 2-159 in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association Press, Quincy, MA (USA), 1995.
 - [10] Drysdale, D., *An Introduction to Fire Dynamics*, John Wiley and Sons, New York, N.Y. (USA), Chapters 6 and 7, pp. 186-252, 1985.
 - [11] Hilado, C.J., *Flammability Test Methods Handbook*, Technomic Publishing Co., Inc., Westport, Co (USA), 1973.
 - [12] Kanury, A.M., *Ignition of Liquid Fuels*, Section 2, Chapter 10, pp. 2-160 to 2-170 in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association Press, Quincy, MA (USA), 1995.
 - [13] Kanury, A.M., *Flaming Ignition of Solid Fuels*, Section 2, Chapter 13, pp. 2-190 to 2-204 in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association Press, Quincy, MA (USA), 1995.
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
P.O. Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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