

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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 © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 60695-1-20

Edition 1.0 2016-01

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

ICS 13.220.40, 29.020

ISBN 978-2-8322-3146-3

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 Terms and definitions	7
4 Principles of ignitability	12
4.1 Gases	12
4.1.1 Overview	12
4.1.2 Flammability limits	12
4.1.3 Arc fires	12
4.2 Liquids.....	13
4.2.1 Overview	13
4.2.2 Ignition parameters	13
4.2.3 Insulating liquids	13
4.3 Solids	13
4.3.1 Overview	13
4.3.2 Parameters affecting ignition	14
4.3.3 Metals	14
4.3.4 Carbon (graphite) and carbonaceous char	15
4.3.5 Reactive substances	15
4.3.6 Dust clouds.....	15
5 Consideration for the selection of test methods	15
5.1 General.....	15
5.2 Fire scenario.....	16
5.3 Ignition sources.....	16
5.3.1 General	16
5.3.2 Internal ignition sources	16
5.3.3 External ignition sources	17
5.3.4 Arc ignition of materials.....	18
5.4 Types of test specimen.....	19
5.5 Test procedure and apparatus	20
6 Use and interpretation of results	20
Annex A (informative) Examples of accidents due to arc fires in underground hydroelectric power plants or urban substations	21
A.1 General.....	21
A.2 Examples which are generally available (non-exhaustive list)	21
A.2.1 Underground hydroelectric power plants	21
A.2.2 Urban substations (non-exhaustive list)	21
Bibliography	22

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60695-1-20 has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

This first edition of IEC 60695-1-20 cancels and replaces the first edition of IEC TS 60695-1-20 published in 2008. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) ISO 5660-1 has been added to the normative references;
- b) definitions of “pyrolysis” and “short-circuit” have been added to Clause 3;
- c) some text from the introduction has been moved to Clause 5 and is now part of the normative text;

d) Clause 5 now contains several mandatory statements.

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

FDIS	Report on voting
89/1296/FDIS	89/1302/RVD

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

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

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

In this standard, the terms defined in Clause 3 are printed in bold type.

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

The IEC 60695-1 series, under the general title *Fire hazard testing*, consists of the following parts:

- Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines
- Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment
- Part 1-12: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire safety engineering
- 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 stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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 some 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 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.

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 an overall fire hazard assessment.

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

FIRE HAZARD TESTING –

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

1 Scope

This part of IEC 60695 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 part of IEC 60695 is intended for use by technical committees in preparation of standards in accordance with the principles laid down in 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 safety publication will not apply unless specifically referred to or included in the relevant publications.

2 Normative references

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

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

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

IEC 60695-1-12, *Fire hazard testing – Part 1-12: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire safety engineering*

IEC TR 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 (GWEPT)*

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

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

IEC 60695-4:2012, *Fire hazard testing – Part 4: Terminology concerning fire tests for electrotechnical products*

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

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

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

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

ISO 13943, *Fire safety – Vocabulary*

ISO 871:2006, *Plastics – Determination of ignition temperature using a hot-air furnace*

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

ISO 2719, *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 5660-1, *Reaction to fire tests – Heat release smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)*

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

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO 13943:2008 and IEC 60695-4:2012 (some of which are reproduced below), as well as the following, apply.

3.1

auto-ignition

spontaneous ignition

self-ignition CA, US

unpiloted ignition CA, US

DEPRECATED: spontaneous combustion

ignition (3.20) resulting from a rise in temperature without a separate **ignition source** (3.22)

Note 1 to entry: The ignition can be caused either by self-heating or by heating from an external source.

Note 2 to entry: In North America, "spontaneous ignition" is the preferred term used to designate ignition caused by self-heating.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.18]

3.2

auto-ignition temperature

spontaneous ignition temperature

minimum temperature at which **auto-ignition** (3.1) is obtained in a fire test

Note 1 to entry: The typical units are degrees Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.19]

3.3

combustion

exothermic reaction of a substance with an oxidizing agent

Note 1 to entry: Combustion generally emits fire effluent accompanied by **flames** (3.11) and/or glowing.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.46]

3.4

fire ⟨general⟩

process of **combustion** (3.3) characterized by the emission of heat and fire effluent and usually accompanied by smoke, **flame** (3.11), glowing or a combination thereof

Note 1 to entry: In the English language the term "fire" is used to designate three concepts, two of which, **fire** (3.5) and **fire** (3.6), relate to specific types of self-supporting combustion with different meanings and two of them are designated using two different terms in both French and German.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.96]

3.5

fire ⟨controlled⟩

self-supporting **combustion** (3.3) that has been deliberately arranged to provide useful effects and is limited in its extent in time and space

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.97]

3.6

fire ⟨uncontrolled⟩

self-supporting **combustion** (3.3) that has not been deliberately arranged to provide useful effects and is not limited in its extent in time and space

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.98]

3.7

fire hazard

physical object or condition with a potential for an undesirable consequence from **fire** (3.4)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.8

fire point

minimum temperature at which a material ignites and continues to burn for a specified time after a standardized small **flame** (3.11) has been applied to its surface under specified conditions

Note 1 to entry: 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.

Note 2 to entry: The typical units are degrees Celsius (°C).

Note 3 to entry: See **flash point** (3.16)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.119]

3.9

fire retardant, noun

substance added, or a treatment applied, to a material in order to delay **ignition** (3.20) or to reduce the rate of **combustion** (3.3)

Note 1 to entry: The use of (a) fire retardant(s) does not necessarily suppress **fire** (3.4) or terminate **combustion** (3.3).

Note 2 to entry: See **flame retardant** (3.12)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.123]

3.10

fire scenario

qualitative description of the course of a **fire** (3.6) with respect to time, identifying key events that characterise the studied fire and differentiate it from other possible fires

Note 1 to entry: It typically defines the **ignition** (3.20) and fire growth processes, the **fully developed fire** (3.17) stage, the fire decay stage, and the environment and systems that impact on the course of the fire.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.129]

3.11

flame, noun

zone in which there is rapid, self-sustaining, sub-sonic propagation of **combustion** (3.3) in a gaseous medium, usually with emission of light

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.133 – modified – The words "zone in which there is" have been added at the beginning of the definition.]

3.12

flame retardant, noun

substance added, or a treatment applied, to a material in order to suppress or delay the appearance of a **flame** (3.11) and/or reduce the flame-spread rate

Note 1 to entry: The use of (a) flame retardant(s) does not necessarily suppress **fire** (3.6) or terminate **combustion** (3.3).

Note 2 to entry: See fire retardant (3.9).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.139]

3.13

flaming combustion

combustion (3.3) in the gaseous phase, usually with emission of light

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.148]

3.14

flash-ignition temperature

FIT

minimum temperature at which, under specified test conditions, sufficient flammable gases are emitted to ignite momentarily on application of a pilot **flame** (3.11)

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: ISO 871:2006, 3.1]

3.15

flashover, ⟨stage of fire⟩

transition to a state of total surface involvement in a **fire** (3.4) of combustible materials within an enclosure

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.156]

3.16

flash point

minimum temperature to which it is necessary to heat a material or a product for the vapours emitted to ignite momentarily in the presence of **flame** (3.11) under specified test conditions

Note 1 to entry: The typical units are degrees Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.154]

3.17

fully developed fire

state of total involvement of combustible materials in a **fire** (3.6)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.164]

3.18

glowing combustion

combustion (3.3) of a material in the solid phase without **flame** (3.11) but with emission of light from the combustion zone

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.169]

3.19

ignitability

ease of ignition

measure of the ease with which a test specimen can be ignited, under specified conditions

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.182]

3.20

ignition, ⟨general⟩

DEPRECATED: sustained ignition
initiation of **combustion** (3.3)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.187]

3.21

ignition, ⟨flaming combustion⟩

DEPRECATED: sustained ignition
initiation of sustained **flame** (3.11)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.188]

3.22

ignition source

source of energy that initiates **combustion** (3.3)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.189]

3.23

lower flammability limit

LFL

minimum concentration of fuel vapour in air below which propagation of a **flame** (3.11) does not occur in the presence of an **ignition source** (3.22)

Note 1 to entry: The concentration is usually expressed as a volume fraction at a defined temperature and pressure, and expressed as a percentage.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.216]

3.24

minimum ignition temperature

ignition point

minimum temperature at which sustained **combustion** (3.3) can be initiated under specified test conditions

Note 1 to entry: The minimum ignition temperature implies the application of a thermal stress for an infinite length of time.

Note 2 to entry: The typical units are degrees Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.231]

3.25

pyrolysis

chemical decomposition of a substance by the action of heat

Note 1 to entry: Pyrolysis is often used to refer to a stage of **fire** (3.4) before **flaming combustion** (3.13) has begun.

Note 2 to entry: In fire science, no assumption is made about the presence or absence of oxygen.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.266]

3.26

short-circuit

unintended connection of two nodes of an electrical circuit

Note 1 to entry: Current flow might occur, which could cause circuit damage, overheating, fire or explosion.

3.27

spontaneous-ignition temperature

SIT

minimum temperature at which, under specified test conditions, **ignition** (3.20), is obtained by heating, in the absence of any additional **ignition source** (3.22)

[SOURCE: ISO 871:2006, 3.2]

3.28

thermal inertia

product of thermal conductivity, density and specific heat capacity

EXAMPLES The thermal inertia of steel is $2,3 \times 10^8 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$. The thermal inertia of polystyrene foam is $1,4 \times 10^3 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$.

Note 1 to entry: When a material is exposed to a heat flux, the rate of increase of 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 to entry: The typical units are joules squared per second per metre to the fourth power per Kelvin squared ($\text{J}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{K}^{-2}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.326]

3.29

upper flammability limit

UFL

maximum concentration of fuel vapour in air above which propagation of a **flame** (3.11) will not occur in the presence of an **ignition source** (3.22)

Note 1 to entry: The concentration is usually expressed as a volume fraction at a defined temperature and pressure, and expressed as a percentage.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.349]

4 Principles of ignitability

4.1 Gases

4.1.1 Overview

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).

4.1.2 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.

4.1.3 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 5.3.4.4).

4.2 Liquids

4.2.1 Overview

With the exception of some unstable or reactive substances, bulk 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 3.2), the fire point (see 3.8) and the flash point (see 3.16). 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 method) 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 method) 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 was 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 spark 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.

NOTE IEC 60695-8-3 is to be withdrawn. The ISO intends to develop a related test method with a wider scope.

4.3 Solids

4.3.1 Overview

With some exceptions (see below) solids do not generally ignite. Normally, the material that ignites is in the gas phase and can be a mixture of gases, aerosols and suspended particles. 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 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, conduction of heat from the surface is negligible, and so resistance to ignition is lower.

Thermoplastic materials have a tendency to melt away from the heat source (e.g. flame or hot-wire) often resulting in non-ignition. Because of this behaviour special consideration 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, $k \cdot \rho \cdot c$, 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].¹

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 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 mixtures of air (or some gas or gases) and fine solid particles which are microscopically dispersed in it, 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 General

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.

¹ Numbers in square brackets refer to the bibliography.

IEC TR 60695-1-21 gives a summary and relevance of test methods associated with ignitability.

5.2 Fire scenario

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 60695-1-10, IEC 60695-1-11 and IEC 60695-1-12 provide guidance on how this is to be accomplished.

The test method(s) selected shall 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.

In cases where fire tests are not yet specified, and need to be developed or altered for the special purpose of an IEC technical committee, this shall be done in liaison with TC 89 in accordance with IEC Guide 104.

5.3 Ignition sources

5.3.1 General

The ignition source used in a laboratory test shall 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) a primary internal source of heat of ohmic nature and a secondary source of heat in the form of a small flame which may occur as result of ignition caused by the primary (ohmic) source of ignition;
- 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 5.3.4.

5.3.2 Internal ignition 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 5.3.4).

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 (GWEPT) applies to end products. 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, a 500 W test flame is used 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.

5.3.3 External ignition sources

If the ignition source under evaluation is located outside the electrotechnical equipment, suitable test methods are those that 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 5.3.4).

The methods described in 5.3.2 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 5.3.2) has gained acceptance in evaluating external ignition sources such as open candle flames (see IEC TS 62441 [2]).

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. 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 a 500 W test flame is used 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.

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

IEC 60695-11-11 (see 5.3.2) simulates ignition caused by the heat flux from a small non-contacting flame.

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.

ISO 5660-1 specifies a method, using the Cone Calorimeter apparatus, to assess the heat release rate of a specimen exposed in the horizontal orientation to controlled levels of irradiance. Time to ignition as a function of the imposed heat flux can be measured and can be used to calculate useful ignition related parameters such as the thermal inertia of materials.

5.3.4 Arc ignition of materials

5.3.4.1 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 device as used in gas or oil furnaces.

5.3.4.2 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.

5.3.4.3 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 [3] 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.

Test methods EN 3475-603 [4] and EN 3475-604 [5] 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 [6] inclined plane wet tracking test 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 [7] 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.

5.3.4.4 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. 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 shall be able to test the actual electrotechnical product, a simulated product, a material or a composite, as described in 5.4.

The test apparatus shall 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 shall 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 are some of the parameters that 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.

The determination of the difficulty or ease of ignition under a defined set of conditions an important factor in the assessment of the relative hazard expected in fires of electrotechnical products. 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 (non-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 (non-exhaustive list)

Toronto, Canada, 1999 – Toronto Hydro, Windsor Station

Sydney, Australia 1999 – Chatswood substation

Sydney, 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*, third edition, Elsevier, 1990, p 732
- [2] IEC TS 62441, *Safeguards against accidentally caused candle flame ignition for audio/video, communication and information technology equipment*
- [3] IEC 60112, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*
- [4] EN 3475-603, *Aerospace series. Cables, electrical, aircraft use. Test methods. Resistance to wet arc tracking*
- [5] EN 3475-604, *Aerospace series. Cables, electrical, aircraft use. Test methods. Resistance to dry arc propagation*
- [6] IEC 60587, *Electrical insulating materials used under severe ambient conditions – Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion*
- [7] IEC 60099-4, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*
- [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
- [14] Fire-and-Explosion Hazard of Substances and Materials and Fire Suppression Means. Handbook. Volumes 1, 2. Moscow (Russia), Khimiya, 1990.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	25
INTRODUCTION.....	27
1 Domaine d'application.....	28
2 Références normatives	28
3 Termes et définitions	29
4 Principes de l'allumabilité	34
4.1 Gaz	34
4.1.1 Présentation	34
4.1.2 Limites d'inflammabilité	35
4.1.3 Feux d'arcs	35
4.2 Liquides	35
4.2.1 Présentation	35
4.2.2 Paramètres d'allumage.....	35
4.2.3 Liquides isolants	36
4.3 Solides	36
4.3.1 Présentation	36
4.3.2 Paramètres affectant l'allumage	36
4.3.3 Métaux	37
4.3.4 Carbone (graphite) et résidu charbonneux	38
4.3.5 Substances réactives	38
4.3.6 Nuages de poussières.....	38
5 Considérations pour la sélection des méthodes d'essai	38
5.1 Généralités	38
5.2 Scénario d'incendie	38
5.3 Sources d'allumage.....	39
5.3.1 Généralités	39
5.3.2 Sources d'allumage internes.....	39
5.3.3 Sources d'allumage externes.....	40
5.3.4 Allumage par arc des matériaux	41
5.4 Types d'éprouvettes d'essai	43
5.5 Procédure et appareillage d'essai	43
6 Utilisation et interprétation des résultats.....	43
Annexe A (informative) Exemples d'accidents dus à des feux d'arc dans des centrales hydroélectriques souterraines ou des postes urbains	45
A.1 Généralités	45
A.2 Exemples généralement disponibles (liste non exhaustive)	45
A.2.1 Centrales hydroélectriques souterraines	45
A.2.2 Postes urbains (liste non exhaustive)	45
Bibliographie	46

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

La Norme internationale IEC 60695-1-20 a été établie par le comité d'études 89 de l'IEC: Essais relatifs aux risques du feu.

Cette première édition de l'IEC 60695-1-20 annule et remplace la première édition de l'IEC TS 60695-1-20 parue en 2008. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) L'ISO 5660-1 a été ajoutée aux références normatives;
- b) les définitions de "pyrolyse" et de "court-circuit" ont été ajoutées à l'Article 3;

- c) des parties de l'introduction ont été déplacées vers l'Article 5 et font maintenant partie du texte normatif;
- d) l'Article 5 comprend maintenant plusieurs énoncés obligatoires.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
89/1296/FDIS	89/1302/RVD

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

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

Elle a le statut d'une publication fondamentale de sécurité, conformément au Guide IEC 104 et au Guide ISO/IEC 51.

Dans la présente norme, les termes définis à l'Article 3 sont indiqués en caractères gras.

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

La série IEC 60695-1, dont le titre général est *Essais relatifs aux risques du feu*, comprend les parties suivantes:

- Partie 1-10: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Lignes directrices générales
- Partie 1-11: Lignes directrices pour l'évaluation du danger du feu des produits électrotechniques – Évaluation du danger du feu
- Partie 1-12: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Ingénierie de la sécurité incendie
- Partie 1-20: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Allumabilité – Lignes directrices générales
- Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Allumabilité – Résumé et pertinence des méthodes d'essais
- Partie 1-30: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Processus d'essai de présélection – Lignes directrices générales
- Partie 1-40: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Liquides isolants

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

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

Les feux sont sources de dangers pour les êtres vivants et les biens en raison de l'émission de chaleur (danger thermique) et également en raison de la production d'effluents toxiques, d'effluents corrosifs et de fumée (danger non thermique). Les feux commencent avec l'allumage puis ils peuvent se développer, conduisant dans certains cas à un embrasement généralisé et à un feu pleinement développé. Pour un matériau, la résistance à l'allumage est donc l'un des paramètres les plus importants à prendre en compte pour l'évaluation du danger d'incendie. En l'absence 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 résulte de la pyrolyse qui se produit 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 masse volumique, de la chaleur spécifique et de la conductivité thermique de celui-ci.

La facilité d'allumage d'une éprouvette d'essai dépend de nombreuses variables. Les facteurs à prendre en compte pour l'évaluation de l'allumabilité sont les suivants:

- a) la configuration de l'éprouvette d'essai, 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 flux de chaleur externe; et
- f) la nature du matériau combustible, solide ou liquide.

Le but principal 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, 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 peuvent être citées.

Les feux impliquant des produits électrotechniques peuvent également être déclenchés par des sources non électriques externes. Ces cas sont traités dans l'évaluation globale des dangers d'incendie.

La présente norme internationale donne une vue d'ensemble de l'allumabilité et de son importance pour les dangers d'incendie 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 présente partie de l'IEC 60695 donne des lignes directrices concernant 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.

La présente partie de l'IEC 60695 est destinée à être utilisée par les comités d'études pour l'établissement de leurs normes conformément aux principes exposés dans le Guide IEC 104 et dans le Guide ISO/IEC 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 de sécurité ne s'appliquent pas, à moins qu'elles ne soient spécifiquement désignées ou incluses dans les publications concernées.

2 Références normatives

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

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

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

IEC 60695-1-12, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-12: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Ingénierie de la sécurité incendie*

IEC TR 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*

IEC 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 (GWEPT)*

IEC 60695-2-12, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-12: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'indice d'inflammabilité au fil incandescent (GWFI) pour matériaux*

IEC 60695-2-13, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-13: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai de température d'allumabilité au fil incandescent (GWIT) pour matériaux*

IEC 60695-4:2012, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 4: Terminologie relative aux essais au feu pour les produits électrotechniques*

IEC 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*

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

IEC TS 60695-11-11, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-11: Flammes d'essai – Détermination du flux de chaleur caractéristique pour l'allumage à partir d'une flamme source sans contact*

IEC 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 IEC 104, *Élaboration des publications de sécurité et utilisation des publications fondamentales de sécurité et publications groupées de sécurité*

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

ISO 13943, *Sécurité au feu – Vocabulaire*

ISO 871:2006, *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, *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 5660-1, *Essais de réaction au feu - Débit calorifique, taux de dégagement de fumée et taux de perte de masse - Partie 1: Débit calorifique (méthode au calorimètre conique) et taux de dégagement de fumée (mesurage dynamique)*

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 donnés dans l'ISO 13943:2008 et l'IEC 60695-4:2012 (dont certains sont reproduits ci-après), ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1

autoallumage

allumage spontané

auto-inflammation CA, US

inflammation non contrôlée CA, US

DÉCONSEILLÉ: combustion spontanée

allumage (3.20) résultant d'une élévation de température sans l'apport d'une **source d'allumage** (3.22)

Note 1 à l'article: L'allumage peut être dû à un autoéchauffement (4.287, 4.288) ou à un échauffement dû à une source externe.

Note 2 à l'article: En Amérique du Nord, «spontaneous ignition» («allumage spontané») est le terme préféré utilisé pour désigner l'allumage provoqué par autoéchauffement.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.18]

3.2

température d'autoallumage

température d'allumage spontané

température minimale à laquelle l'**autoallumage** (3.1) est obtenu lors d'un essai de feu

Note 1 à l'article: Elle est exprimée en degrés Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.19]

3.3

combustion

réaction exothermique d'une substance avec un comburant

Note 1 à l'article: Cette combustion émet généralement des effluents du feu accompagnés de **flammes** (3.11) et/ou d'incandescence.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.46]

3.4

feu (général)

processus de **combustion** (3.3) caractérisé par l'émission de chaleur et d'effluents du feu et accompagné généralement par de la fumée, des **flammes** (3.11), une incandescence ou par une combinaison de ces éléments

Note 1 à l'article: En anglais, le terme «fire» est utilisé pour désigner trois concepts, dont deux, **fire** (3.5) et **fire** (3.6), se rapportent à des types spécifiques de combustion autoentretenue ayant des significations diverses et deux d'entre eux sont désignés par deux termes différents, tant en français qu'en allemand.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.96]

3.5

feu (contrôlé)

combustion (3.3) autoentretenue qui a été délibérément assurée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace est contrôlée

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.97]

3.6

incendie (non contrôlé)

combustion (3.3) autoentretenue qui n'a pas été délibérément assurée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace n'est pas contrôlée

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.98]

3.7

danger d'incendie

objet physique ou condition susceptible d'entraîner des conséquences non souhaitables causées par un **feu** (3.4)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.8

point de feu

température minimale à laquelle un matériau soumis à une petite **flamme** (3.11) appliquée à sa surface dans des conditions spécifiées, s'enflamme et continue de brûler pendant un temps spécifié

Note 1 à l'article: Dans certains pays, le terme anglais "fire point" ("point de feu" en français) a aussi une autre signification: un emplacement où le matériel de lutte contre l'incendie est placé et qui peut comprendre également un poste de détection et d'alarme incendie et les instructions à suivre en cas d'incendie.

Note 2 à l'article: Il est exprimé en degrés Celsius (°C).

Note 3 à l'article: Voir **point d'éclair** (3.16)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.119]

3.9

ignifugeant, substantif

substance ajoutée ou traitement appliqué à un matériau pour retarder l'**allumage** (3.20) ou réduire la vitesse de **combustion** (3.3)

Note 1 à l'article: L'emploi d'ignifugeants ne supprime pas nécessairement le **feu** (3.4) et ne met pas nécessairement un terme à la **combustion** (3.3).

Note 2 à l'article: Voir **retardateur de flamme** (3.12)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.123]

3.10

scénario d'incendie

description qualitative du déroulement d'un **incendie** (3.6) dans le temps, identifiant les événements clés qui caractérisent l'incendie et le différencient des autres incendies potentiels

Note 1 à l'article: Il définit typiquement les processus d'**allumage** (3.20) et de croissance du feu, le stade de **feu pleinement développé** (3.17), le stade de déclin du feu, ainsi que l'environnement et les systèmes qui interviennent dans le déroulement de l'incendie.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.129]

3.11

flamme, substantif

zone dans laquelle il existe une propagation subsonique, autoentretenu et rapide de la **combustion** (3.3) dans un milieu gazeux, généralement accompagnée d'une émission de lumière

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.133 – modifiée - les mots "zone dans laquelle il existe" ont été ajoutés au début de la définition.]

3.12

retardateur de flamme, substantif

substance ajoutée ou traitement appliqué à un matériau pour supprimer ou retarder l'apparition d'une **flamme** (3.11) et/ou diminuer la vitesse de propagation des flammes

Note 1 à l'article: L'emploi d'ignifugeants ne supprime pas nécessairement l'**incendie** (3.6) et ne met pas nécessairement un terme à la **combustion** (3.3).

Note 2 à l'article: Voir **ignifugeant** (3.9)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.139]

3.13

combustion avec flammes

combustion (3.3) en phase gazeuse, généralement accompagnée d'émission de lumière

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.148]

3.14

température d'allumage éclair

FIT

température minimale à laquelle, dans des conditions d'essai spécifiées, des gaz inflammables en quantité suffisante s'enflamment momentanément dès l'application d'une **flamme** pilote (3.11)

Note 1 à l'article: L'abréviation «FIT» est dérivée du terme anglais développé correspondant «Flash-Ignition Temperature».

[SOURCE: ISO 871:2006, 3.1]

3.15

embrasement généralisé

flashover (stade d'incendie)

passage à un état impliquant dans un **feu** (3.4) l'ensemble des surfaces des matériaux combustibles dans une enceinte

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.156]

3.16

point d'éclair

température minimale à laquelle doit être chauffé un matériau ou un produit pour que les gaz émis s'enflamment momentanément en présence d'une **flamme** (3.11) dans des conditions spécifiées

Note 1 à l'article: Il est exprimé en degrés Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.154]

3.17

feu pleinement développé

état dans lequel l'ensemble des matériaux combustibles sont impliqués dans un **incendie** (3.6)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.164]

3.18

combustion incandescente

combustion (3.3) d'un matériau, en phase solide, sans **flamme** (3.11) mais avec émission de lumière émanant de la zone de combustion

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.169]

3.19**allumabilité****facilité d'allumage**

mesure de la facilité avec laquelle une éprouvette d'essai peut être allumée, dans des conditions spécifiées

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.182]

3.20**allumage** 〈général〉

DÉCONSEILLÉ: allumage persistant
amorçage de la **combustion** (3.3)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.187]

3.21**allumage** 〈combustion avec flammes〉

DÉCONSEILLÉ: allumage persistant
déclenchement d'une **flamme** persistante (3.11)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.188]

3.22**source d'allumage**

source d'énergie qui provoque une **combustion** (3.3)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.189]

3.23**limite inférieure d'inflammabilité****LII**

concentration minimale de la vapeur du combustible dans l'air au-dessous de laquelle la propagation de la **flamme** (3.11) ne se produit pas en présence d'une **source d'allumage** (3.22)

Note 1 à l'article: La concentration est généralement exprimée comme une fraction volumique à une température et une pression définies, et exprimée en pourcentage.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.216]

3.24**température d'allumage minimale****point d'allumage**

température minimale à laquelle une **combustion** (3.3) persistante peut être provoquée dans des conditions d'essai spécifiées

Note 1 à l'article: La température minimale d'allumage implique l'application d'une contrainte thermique de durée infinie.

Note 2 à l'article: Elle est exprimée en degrés Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.231]

3.25**pyrolyse**

décomposition chimique d'une substance provoquée par l'action de la chaleur

Note 1 à l'article: Le terme est souvent utilisé pour se référer à un stade du **feu** (3.4) avant que la **combustion avec flammes** (3.13) n'ait commencé.

Note 2 à l'article: En science du feu, aucune hypothèse n'est émise quant à la présence ou l'absence d'oxygène.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.266]

3.26

court-circuit

connexion non intentionnelle de deux nœuds d'un circuit électrique

Note 1 à l'article: Un flux de courant peut se produire et endommager le circuit et provoquer une surchauffe, un incendie ou une explosion.

3.27

température d'allumage spontané

SIT

température minimale à laquelle l'**allumage** (3.20) est obtenu par chauffage, dans des conditions d'essai spécifiées, en l'absence de toute **source d'allumage** (3.22) auxiliaire

Note 1 à l'article: L'abréviation «SIT» est dérivée du terme anglais développé correspondant «Spontaneous-Ignition Temperature».

[SOURCE: ISO 871:2006, 3.2]

3.28

inertie thermique

produit de la conductivité thermique, de la masse volumique et de la capacité calorifique spécifique

EXEMPLES L'inertie thermique de l'acier est de $2,3 \times 10^8 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$. L'inertie thermique de la mousse de polystyrène est de $1,4 \times 10^3 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$.

Note 1 à l'article: Lorsqu'un matériau est exposé à un flux de chaleur, la vitesse d'augmentation de la température superficielle dépend fortement de la valeur de l'inertie thermique du matériau. La température superficielle d'un matériau à faible inertie thermique augmente relativement rapidement lorsqu'il est chauffé et inversement.

Note 2 à l'article: Elle est exprimée en joules carrés par seconde par mètre puissance quatre par kelvin carré ($\text{J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.326]

3.29

limite supérieure d'inflammabilité

LSI

concentration maximale de la vapeur du combustible dans l'air au-dessus de laquelle la propagation de la **flamme** (3.11) ne se produira pas en présence d'une **source d'allumage** (3.22)

Note 1 à l'article: La concentration est généralement exprimée comme une fraction volumique à une température et une pression définies, et exprimée en pourcentage.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.349]

4 Principes de l'allumabilité

4.1 Gaz

4.1.1 Présentation

L'allumage d'un gaz dépend de son mélange avec l'air. Si le gaz est mélangé à l'air avant l'allumage, la réaction est connue sous le terme de combustion de prémélange. Dans un brûleur, la combustion est contrôlée, mais si un volume important de mélange gaz/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 à l'endroit 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) autoallumage – lorsque la température de l'ensemble du mélange 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).

4.1.2 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 inférieure d'inflammabilité (LII) et de limite supérieure d'inflammabilité (LSI). Ces limites s'expliquent par le fait 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 du combustible, en volume, dans le mélange combustible/air.

4.1.3 Feux d'arcs

Les défauts qui apparaissent à l'intérieur de certains équipements électriques comme les boîtes de jonction et les transformateurs de puissance peuvent donner lieu à des décharges électriques disruptives (arcs électriques) qui peuvent entraîner une pyrolyse des matériaux isolants avec la production de gaz combustibles de température élevée. De tels gaz se dilatent rapidement et, au contact de l'air, ils peuvent donner lieu à une explosion (voir 5.3.4.4)

4.2 Liquides

4.2.1 Présentation

Généralement, les liquides en vrac 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'autoallumage (voir 3.2), du point de feu (voir 3.8) et du point d'éclair (voir 3.16). L'autoallumage fait référence à l'allumage en l'absence de source de chaleur localisée. Le point d'éclair concerne l'allumage momentané. Le point de 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 lors de l'indication de ces paramètres.

4.2.3 Liquides isolants

4.2.3.1 Mesurage du point d'éclair

L'ISO 2719 (Méthode Pensky-Martens en vase clos) est citée dans les normes IEC pour le mesurage du point d'éclair des liquides isolants. Elle mesure le point d'éclair dans un espace confiné et elle est destinée à détecter de faibles quantités de matériau volatil. Une autre méthode est donnée par l'ISO 2592 (Méthode Cleveland à vase ouvert) qui est utilisée pour mesurer le point d'éclair au-dessus de la surface libre d'un liquide. Le point d'éclair mesuré par l'ISO 2592 est très inférieur à celui mesuré par l'ISO 2719.

4.2.3.2 Mesurages au moyen d'un cône calorimètre

L'IEC 60695-8-3 a été élaborée pour mesurer la quantité de chaleur qui se dégage des liquides isolants lorsqu'ils brûlent. L'éprouvette d'essai est exposée à un flux de chaleur uniforme en présence d'une source d'allumage constituée par une étincelle. Les propriétés liées à l'allumage peuvent être définies comme le temps avant allumage lors d'une exposition à un flux de chaleur spécifié ou comme le flux de chaleur incident minimal qui permet l'allumage.

NOTE L'IEC 60695-8-3 doit être annulée. L'ISO a l'intention de développer une méthode d'essai associée avec un domaine d'application plus large.

4.3 Solides

4.3.1 Présentation

Généralement, à quelques exceptions près (indiquées ci-dessous), les solides ne s'enflamment pas. Normalement, le matériau qui s'enflamme se trouve en phase gazeuse et il peut être un mélange de gaz, d'aérosols et de particules en suspension. 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 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 affectant l'allumage

Dans le cas d'un solide, l'émission 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 flux de chaleur rayonné, un flux de chaleur par convection, un flux de chaleur par conduction, une flamme, un fil chaud ou une combinaison de ces sources.

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

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

- a) son épaisseur;
- b) sa conductivité thermique, (k);
- c) sa masse volumique, (ρ);
- d) sa capacité calorifique spécifique, (c);
- e) son absorptivité (dans le cas d'un échauffement rayonné).

Dans une éprouvette d'essai 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 d'essai de faible épaisseur, la conduction de la chaleur par la surface est négligeable et par conséquent la résistance à l'allumage est plus faible.

Les matériaux thermoplastiques ont tendance à fondre à côté de la source de chaleur (par exemple flamme ou fil chaud) ce qui a souvent pour résultat l'absence d'allumage. Compte tenu de ce comportement, il convient d'accorder une attention particulière aux essais d'allumabilité des thermoplastiques. Les problèmes qui peuvent se présenter lorsque les thermoplastiques sont soumis à des essais au feu normaux sont traités dans l'ISO 10840.

Le produit, $k \cdot \rho \cdot c$, 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 est relativement faible et par conséquent le délai avant d'atteindre la température d'allumage est relativement long. Si l'inertie thermique est faible, par exemple dans le cas de certains plastiques alvéolaires ou matériaux combustibles de faible densité, la vitesse d'échauffement de la surface est relativement élevée et par conséquent le délai avant d'atteindre la température d'allumage est relativement court.

Après l'allumage de l'éprouvette d'essai, la propagation des flammes intervient si la flamme transfère un flux de chaleur 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 du flux de chaleur transféré à l'avant du front de pyrolyse dépend du débit calorifique de l'éprouvette d'essai et de l'existence éventuelle d'un flux de chaleur appliqué de manière continue, alors que la résistance à l'allumage dépend de la température d'allumage minimale de l'éprouvette d'essai et de la vitesse d'échauffement de la surface.

4.3.3 Métaux

Lorsqu'un métal brûle dans l'air, le produit de sa combustion est un oxyde métallique. De nombreux métaux présentent sur leur surface une couche d'oxyde métallique qui se forme par oxydation à faible température. Cette couche d'oxyde ne peut pas brûler, car elle est déjà le produit de l'oxydation du métal, ainsi avant que la masse du métal puisse brûler, sa couche superficielle doit être 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 brûlent à la température de leur point de fusion ou à une valeur inférieure (par exemple, le fer et le magnésium). Ces métaux ont tous des points de fusion supérieurs à 650 °C. Généralement, ces métaux ne forment pas de couche d'oxyde de protection.
- b) Les métaux qui brûlent après fusion (par exemple, l'aluminium, le plomb, l'étain et le zinc). Ces métaux ont tous des points de fusion inférieurs à 660 °C. Généralement, 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

Le carbone pur sous la forme de graphite peut s'enflammer dans l'air à une température supérieure à environ 800 °C. Dans la plage allant de 800 °C à 1 200 °C, il se produit une combustion superficielle sans flamme (combustion incandescente). Au-delà de 1 200 °C environ, il se produit une combustion avec flammes et une flamme CO est observée.

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 plage étendue des températures d'allumage observées. Comme dans le cas du graphique, des combustions avec ou sans flamme 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 plage de polymères organiques [1] ¹

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 ou explosifs. Les exemples suivants peuvent être présentés:

- “papier nitrate” (cellulose et nitrate de potassium);
- poudre noire (carbone, soufre et nitrate de potassium);
- cigarettes (tabac et nitrate de potassium);
- TNT (trinitrotoluène).

4.3.6 Nuages de poussières

Les nuages de poussières sont des mélanges d'air (ou d'un ou plusieurs gaz) et de particules fines solides qui sont microscopiquement dispersées et leur comportement d'allumage est plus proche de celui d'un gaz de prémélange que de celui d'un solide.

5 Considérations pour la sélection des méthodes d'essai

5.1 Généralités

Les facteurs importants à prendre en compte lors de la sélection de la méthode d'essai à utiliser incluent: le ou les scénarios d'incendie concernés, les sources d'allumage possibles, le type d'éprouvette d'essai et le type de procédure et d'appareillage d'essai.

L'IEC TR 60695-1-21 donne un résumé et la pertinence des méthodes d'essai associées à l'allumabilité.

5.2 Scénario d'incendie

Au moment 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. À cet égard, l'objectif au moment de la conception des composants, des circuits et des équipements, ainsi qu'au

¹ Les chiffres entre crochets font référence à la bibliographie.

moment 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 dysfonctionnement ou d'une défaillance. L'IEC 60695-1-10, l'IEC 60695-1-11 et l'IEC 60695-1-12 fournissent des lignes directrices sur la manière de procéder.

La ou les méthodes d'essai choisies doivent être appropriées au scénario d'incendie considéré. Les paramètres importants à prendre en compte comprennent:

- a) la configuration de l'éprouvette d'essai, 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 flux de chaleur externe; et
- g) la nature du matériau inflammable, solide ou liquide.

Lorsque des essais au feu ne sont pas encore spécifiés et doivent être développés ou modifiés pour les besoins particuliers d'un comité d'études de l'IEC, ceci doit être réalisé en liaison avec le CE 89, conformément au Guide IEC 104.

5.3 Sources d'allumage

5.3.1 Généralités

La source d'allumage utilisée dans un essai de laboratoire doit être adaptée au scénario d'incendie considéré.

Dans le cas du danger d'incendie des équipements électrotechniques, deux types de sources d'allumage sont importants:

- a) une source de chaleur interne principale de nature ohmique et une source de chaleur secondaire sous la forme d'une petite flamme qui peut apparaître par suite d'un allumage causé par la source d'allumage principale (ohmique);
- b) à partir de sources de flammes ou de chaleur excessive qui sont externes aux équipements et systèmes électrotechniques.

Dans les deux cas, un type possible d'allumage spécifique aux équipements électrotechniques est l'allumage par un arc. Ce type d'allumage est traité en 5.3.4.

5.3.2 Sources d'allumage internes

Si la source d'allumage en cours d'évaluation se trouve à l'intérieur d'un produit ou si elle 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 qui se produit à l'intérieur du composant ou de l'appareillage en cours d'évaluation;
- c) des arcs électriques (voir 5.3.4).

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 qui sont utilisées pour l'évaluation de la résistance des plastiques aux effets des sources d'allumage.

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

L'IEC 60695-2-11 (GWEPT) s'applique aux produits finis. Elle fournit une évaluation qualitative du comportement d'allumage et, à des valeurs supérieures à 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.

L'IEC 60695-2-12 (GWFI) et l'IEC 60695-2-13 (GWIT) sont adaptées à la présélection 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 d'essai. L'essai GWIT est conçu pour évaluer la résistance à l'allumage en mesurant la température d'allumage minimale.

L'IEC 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 d'essai donnée et mesure sa capacité à s'autoéteindre.

L'IEC 60695-11-10 et l'IEC 60695-11-20 présentent chacune une méthode d'essai légèrement différente. Ces deux méthodes d'essai impliquent le contact direct d'une flamme nue sur la surface de l'éprouvette d'essai. 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 l'IEC 60695-11-10, une flamme d'essai de 50 W est utilisée. Dans l'IEC 60695-11-20, une flamme d'essai de 500 W est utilisée et la durée d'application de la flamme est plus longue. Dans les deux cas, les méthodes d'essai donnent des systèmes de classification qui peuvent être utilisés pour l'assurance de la qualité ou pour la présélection des matériaux qui composent les produits.

NOTE Les domaines d'application de l'IEC 60695-11-10 et de l'IEC 60695-11-20 ne font pas référence à la simulation de l'allumage interne ni de l'allumage externe.

L'IEC 60695-11-11 est adaptée pour simuler l'allumage par un flux de chaleur à partir d'une petite flamme sans contact.

5.3.3 Sources d'allumage externes

Si la source d'allumage en cours d'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 nue 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) le flux de chaleur thermique indirect
 - i) par rayonnement,
 - ii) par convection,
- d) des arcs électriques (voir 5.3.4).

Les méthodes décrites en 5.3.2 peuvent tout aussi bien être utilisées pour simuler un allumage externe qu'un allumage interne. La différence est l'emplacement d'application de la contrainte thermique. L'IEC 60695-11-5, qui simule l'allumage par une petite flamme (voir 5.3.2) est désormais acceptée pour évaluer les sources d'allumage externes comme les flammes nues de bougie (voir l'IEC TS 62441 [2]).

Des méthodes d'essai supplémentaires peuvent être:

Celles de l'IEC 60695-11-10 et de l'IEC 60695-11-20: Ces deux méthodes d'essai impliquent le contact direct d'une flamme nue sur la surface de l'éprouvette d'essai. 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 l'IEC 60695-11-10, une flamme d'essai de 50 W est utilisée. Dans l'IEC 60695-11-20, une flamme d'essai de 500 W est utilisée et la durée d'application de la flamme est plus longue. Dans les deux cas, les méthodes d'essai donnent des systèmes de classification qui peuvent être utilisés pour l'assurance de la qualité ou pour la présélection des matériaux qui composent les produits.

NOTE Les domaines d'application de l'IEC 60695-11-10 et IEC 60695-11-20 ne font pas référence à la simulation de l'allumage interne ni de l'allumage externe.

Le flux thermique indirect, provenant d'un objet en train de brûler à proximité, peut être évalué par les méthodes suivantes.

L'IEC 60695-11-11 (voir 5.3.2) simule l'allumage causé par le flux de chaleur provenant d'une petite flamme sans contact.

ISO 5657: Il s'agit d'une méthode d'essai à petite échelle 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 d'essai est chauffée avec un appareil chauffant conique à résistance électrique et le débit calorifique est mesuré après l'allumage.

L'ISO 5660-1 spécifie une méthode qui utilise un cône calorimètre pour évaluer le débit calorifique d'une éprouvette exposée horizontalement à des niveaux d'éclairement énergétique contrôlés. Le délai d'allumage en fonction du flux de chaleur appliqué peut être mesuré et utilisé pour calculer des paramètres utiles liés à l'allumage tels que l'inertie thermique des matériaux.

5.3.4 Allumage par arc des matériaux

5.3.4.1 Allumage par arc des 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 peuvent être causées par des courts-circuits ou des relais à une valeur inférieure à celle qui peut 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, une source à haute tension est normalement utilisée pour alimenter une bougie ou un dispositif d'allumage comme dans les chaudières à gaz ou à mazout.

5.3.4.2 Allumage par arc des liquides

En général, un liquide doit être volatilisé pour qu'un allumage par arc se produise. Un arc à haute tension brûlant en traversant la surface air/liquide de l'huile d'un transformateur peut être donné comme exemple. Un transfert thermique par rayonnement peut facilement générer

une température suffisamment élevée dans le liquide pour que celui-ci se volatilise et s'enflamme. Il est très souhaitable d'exclure cette possibilité de par la conception.

5.3.4.3 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 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 l'IEC 60112 [3] est utilisée pour évaluer le cheminement sur les matériaux jusqu'à 600 V.

NOTE L'IEC 60112 ne propose pas un essai d'allumabilité, mais si l'allumage se produit et qu'il est suivi par des flammes persistantes pendant la durée de l'essai, cet essai est considéré comme un échec.

Les méthodes d'essai de l'EN 3475-603 [4] et de l'EN 3475-604 [5] 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. Comme l'isolation carbonisée est conductrice, elle peut entretenir 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 de faible intensité/les hautes tensions, l'essai de cheminement en conditions humides sur plan incliné de l'IEC 60587 [6] est un protocole adapté et il est utile de noter que le PTFE (polytétrafluoroéthylène) est déclaré comme amorceur d'allumage 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 courant élevé est l'allumage par des arcs de puissance de centaines ou de milliers d'ampères. De tels arcs peuvent générer une chaleur rayonnée 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 sont conduits dans le circuit en défaut. Un exemple serait l'IEC 60099-4 [7] applicable aux parafoudres dans lesquels 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.

5.3.4.4 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 jonction et les transformateurs de puissance peuvent donner lieu à des décharges électriques disruptives (arcs électriques) qui peuvent entraîner une pyrolyse des matériaux isolants avec la 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 sont exposés à de tels problèmes. Des essais effectués dans plusieurs laboratoires étudiant la haute puissance semblent indiquer que les transformateurs de puissance supérieure 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 de gaz à haute pression et température élevée

qui croît rapidement à l'intérieur du transformateur, donnant souvent lieu à une défaillance de la 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 centrales hydroélectriques souterraines ou des postes urbains.

5.4 Types d'éprouvettes d'essai

L'éprouvette d'essai 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 constitué 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 manière à ce que les résultats puissent être utilisés pour l'analyse des dangers. Toutefois, cela peut ne pas être nécessaire dans le cas des essais simples destinés uniquement au contrôle de la qualité ou à des fins réglementaires.

L'appareillage d'essai doit être capable de soumettre aux essais le produit électrotechnique réel, un produit simulé, un matériau ou un composite, comme cela est décrit en 5.4.

L'appareillage d'essai doit être capable d'imposer un flux de chaleur provenant d'une source de chaleur externe ou d'une flamme, de manière à peu près uniforme, sur l'éprouvette d'essai dans la zone où l'allumage est prévu.

Il convient que l'appareillage d'essai qui subit un flux de chaleur soit capable d'allumer le mélange vapeur-air qui provient de l'éprouvette d'essai. Un dispositif d'allumage électrique par étincelle ou une flamme gaz/air de prémélange est considéré(e) comme adapté(e).

Un débit d'air adapté au scénario d'incendie étudié doit être utilisé.

6 Utilisation et interprétation des résultats

Le phénomène d'allumage et la combustion persistante qui peut en découler dépendent tous deux 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 d'incendie étudié.

Les paramètres suivants font partie des paramètres qui peuvent être utilisés en ingénierie de la sécurité incendie:

- a) température d'autoallumage,
- b) point de feu,
- c) point d'éclair,
- d) température d'allumage,
- e) limites inférieure et supérieure d'inflammabilité, et
- f) inertie thermique.

Un facteur important du danger 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 danger 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 des centrales hydroélectriques souterraines ou des postes urbains

A.1 Généralités

Les accidents avec explosion de gaz dans les centrales hydroélectriques souterraines ou les postes urbains peuvent se produire par 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 une onde de choc de pression qui, si elle n'est pas convenablement confinée par des barrières antiexplosion, peut se propager dans la centrale ou le poste.

A.2 Exemples généralement disponibles (liste non exhaustive)

A.2.1 Centrales hydroélectriques souterraines

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 personne 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 au sol dans l'isolateur. Explosion des gaz réactifs et du nuage d'huile: équipements et structures endommagés

Skjomen, Norvège, 1998 – Défauts de matériau et de système dans les systèmes de commande. Explosion et boule de feu due à l'huile: transformateur complètement 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 Postes urbains (liste non exhaustive)

Toronto, Canada, 1999 – Toronto Hydro, Windsor Station

Sydney, Australie 1999 – Chatswood substation

Sydney, Australie 2000 – Paddington substation

Chicago, Etats-Unis 2000 – Chicago downtown

Pittsburgh, Etats-Unis 2000 – Pittsburgh downtown

Brisbane, Australie 2001 – Tennyson substation

Bibliographie

- [1] Van Krevelen, D. W., *Properties of Polymers*, third edition, Elsevier, 1990, p 732.
- [2] IEC TS 62441, *Mesures de protection contre l'embrasement accidentel dû à une flamme de bougie dans les équipements audio/vidéo, des technologies de la communication et de l'information*
- [3] IEC 60112, *Méthode de détermination des indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides.*
- [4] EN 3475-603, *Série aéronautique. Câbles électriques à usage aéronautique. Méthodes d'essais – Partie 603: Résistance à l'amorçage et à la propagation d'arc électrique, essai humide.*
- [5] EN 3475-604, *Série aéronautique. Câbles électriques à usage aéronautique. Méthodes d'essais – Partie 604: Résistance à l'amorçage et à la propagation d'arc électrique, essai à sec.*
- [6] IEC 60587, *Matériaux isolants électriques utilisés dans des conditions ambiantes sévères – Méthodes d'essai pour évaluer la résistance au cheminement et à l'érosion*
- [7] IEC 60099-4, *Parafoudres – Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour réseaux à courant alternatif.*
- [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
- [14] *Fire-and-Explosion Hazard of Substances and Materials and Fire Suppression Means. Handbook. Volumes 1, 2.* Moscow (Russia), Khimiya, 1990

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO 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