

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC SAFETY PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

**Fire hazard testing –
Part 1-40: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products –
Insulating liquids**

**Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 1-40: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits
électrotechniques – Liquides isolants**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-40:2013



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

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

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.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

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

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 la CEI

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

A propos des publications CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. 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 au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

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 60695-1-40

Edition 1.0 2013-11

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC SAFETY PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

**Fire hazard testing –
Part 1-40: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products –
Insulating liquids**

**Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 1-40: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits
électrotechniques – Liquides isolants**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 13.220.40; 29.020

ISBN 978-2-8322-1170-0

**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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Classification of insulating liquids	13
5 Types of electrotechnical equipment containing insulating liquids	13
6 Fire parameters	14
6.1 General.....	14
6.2 Ignition.....	14
6.2.1 General	14
6.2.2 Combustion	14
6.2.3 Potential fire growth.....	14
6.2.4 Fire effluent	14
7 Fire scenarios.....	14
7.1 General.....	14
7.2 Origin fire scenarios.....	14
7.2.1 General	14
7.2.2 Major causes of fire	15
7.2.3 Minor causes of fire	16
7.2.4 Pool fires	16
7.2.5 Burning spray	16
7.2.6 Ignition on hot surface	16
7.3 Victim fire scenarios.....	16
8 Protective measures against fire.....	17
9 Considerations for the selection of test methods.....	17
9.1 General.....	17
9.2 Type tests	18
9.3 Sampling tests	18
9.4 Arc resistance tests	18
9.5 Relevance of test results to fire scenario.....	18
Annex A (informative) History of insulating liquids.....	19
Annex B (informative) Preventive and protective measures against fire.....	20
B.1 General.....	20
B.2 Physical protective measures.....	20
B.3 Chemical protective measures	20
B.4 Electrical protective measures	20
B.5 Sensing devices.....	20
B.6 Maintenance and inspection.....	20
Annex C (informative) Transformers.....	22
C.1 General.....	22
C.2 Transformer choice	22
Annex D (informative) Power capacitors	24

Annex E (informative) Cables.....	25
E.1 Power cables	25
E.2 Communication cables	26
E.3 Cables with water blocking compounds	26
E.4 Cable terminations	26
Annex F (informative) Bushings	27
Annex G (informative) Switchgear	28
Bibliography.....	29
 Figure E.1 – Oil viscosity	 26
 Table 1 – Classification of insulating liquids	 13

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-40:2013

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –

**Part 1-40: Guidance for assessing the fire hazard
of electrotechnical products –
Insulating liquids**

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 60695-1-40 has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

This first edition of IEC 60695-1-40 cancels and replaces the first edition of IEC/TS 60695-1-40 published in 2002. It constitutes a technical revision and now has the status of an International Standard.

The main changes with respect to the first edition of IEC/TS 60695-1-40 are the integration of editorial and technical changes throughout the text.

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

FDIS	Report on voting
89/1191/FDIS	89/1200/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.

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

This international standard is to be used in conjunction with IEC 60695-1-10.

IEC 60695-1 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 process – 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 web site 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

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 product 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.

For more than 100 years, insulating liquids based on mineral oil have been used for the insulating and cooling of electrical transformers and some other types of electrotechnical equipment.

During the last 70 years, synthetic insulating liquids have been developed and used in specific electrotechnical applications for which their properties are particularly suitable. However, for technical and economic reasons, highly refined mineral oil continues to be the most widely used insulating liquid for use in transformers, the major end use application. Their safe installation is covered by local, national and international regulations.

The fire safety record of electrotechnical equipment containing insulating liquids is good, for both mineral oil and synthetic liquids. In recent years improvements in design and protective measures against fire have reduced the fire hazard for electrotechnical equipment containing mineral oil. However, as for all forms of electrotechnical equipment, the objective should be to reduce the likelihood of fire even in the event of foreseeable abnormal use.

The practical aim is to prevent ignition, but if ignition occurs, to control the fire, preferably within the enclosure of the electrotechnical equipment.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-40:2013

FIRE HAZARD TESTING –

Part 1-40: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Insulating liquids

1 Scope

This international standard provides guidance on the minimization of fire hazard arising from the use of electrical insulating liquids, with respect to:

- a) electrotechnical equipment and systems,
- b) people, building structures and their contents.

This basic safety publication is intended for use by technical committees in the preparation of standards in accordance with the principles laid down in IEC Guide 104 [1]¹ and ISO/IEC Guide 51 [2]. It is not intended for use by manufacturers or certification bodies.

One of the responsibilities of a technical committee is, wherever applicable, to make use of basic safety publications in the preparation of its 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 60050, *International electrotechnical vocabulary*

IEC 60296, *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60465, *Specification for unused insulating mineral oils for cables with oil ducts*

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

IEC 60695-6-2, *Fire hazard testing – Part 6-2: Smoke obscuration – Summary and relevance of test methods*

IEC 60695-7-2, *Fire hazard testing – Part 7-2: Toxicity of fire effluent – Summary and relevance of test methods*

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

IEC 60695-8-2, *Fire hazard testing – Part 8-2: Heat release – Summary and relevance of test methods*

IEC 60944, *Guide for the maintenance of silicone transformer liquids*

IEC 61039, *Classification of insulating liquids*

IEC 61203, *Synthetic organic esters for electrical purposes – Guide for maintenance of transformer esters in equipment*

IEC/TS 60695-5-2, *Fire hazard testing – Part 5-2: Corrosion damage effects of fire effluent – Summary and relevance of test methods*

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

ISO 1716, *Reaction to fire tests for products – Determination of the gross heat of combustion (calorific value)*

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

ISO 13943:2008, *Fire safety – Vocabulary*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, terms and definitions given in ISO 13943:2008 and IEC 60695-4:2012, some of which are reproduced below for the user's convenience, as well as the following additional definitions, apply.

3.1

arc

electrical breakdown of a gas which produces a sustained plasma discharge, resulting from an electric current flowing through a normally nonconductive medium such as air

3.2

bund

outer wall or tank designed to retain the contents of an inner container in the event of leakage or spillage

Note 1 to entry: A bund should be designed to capture well in excess of the volume of liquids held within the bund area.

3.3

bushing

insulating liner in an opening through which a conductor passes

3.4

combustion

exothermic reaction of a substance with an oxidizing agent

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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.46]

3.5

corrosion damage

physical and/or chemical damage or impaired function caused by chemical action

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.56]

3.6 enclosure

⟨electrotechnical⟩ external casing protecting the electrical and mechanical parts of apparatus

Note 1 to entry: The term excludes cables.

[SOURCE: IEC 60695-4:2012, 3.2.6]

3.7 fire

⟨general⟩ process of combustion characterized by the emission of heat and fire effluent and usually accompanied by smoke, flame, 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 and fire, 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]

3.8 fire effluent

totality of gases and aerosols, including suspended particles, created by combustion or pyrolysis in a fire

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.105]

3.9 fire growth

stage of fire development during which the heat release rate and the temperature of the fire are increasing

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.111]

3.10 fire hazard

physical object or condition with a potential for an undesirable consequence from fire

[SOURCE: ISO 13943:2008, definition 4.112]

3.11 fire load

quantity of heat which can be released by the complete combustion of all the combustible materials in a volume, including the facings of all bounding surfaces

Note 1 to entry: Fire load may be based on effective heat of combustion, gross heat of combustion, or net heat of combustion as required by the specifier.

Note 2 to entry: The word “load” can be used to denote force or power or energy. In this context, it is being used to denote energy.

Note 3 to entry: The typical units are kilojoules (kJ) or megajoules (MJ).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.114]

3.12 fire point

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

Note 1 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).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.119]

3.13

fire risk

probability of a fire combined with a quantified measure of its consequence

Note 1 to entry: It is often calculated as the product of probability and consequence.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.124]

3.14

fire scenario

qualitative description of the course of a fire 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 and fire growth processes, the fully developed fire stage, the fire decay stage, and the environment and systems that impact on the course of the fire.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.129]

3.15

flame, noun

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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.133 – modified by addition of “zone in which there is”]

3.16

flammability

ability of a material or product to burn with a flame under specified conditions

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.151]

3.17

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 under specified conditions

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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.154]

3.18

gross heat of combustion

heat of combustion of a substance when the combustion is complete and any produced water is entirely condensed under specified conditions

Note 1 to entry: The typical units are kilojoules per gram ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.170]

3.19

heat of combustion

thermal energy produced by combustion of unit mass of a given substance

Note 1 to entry: The typical units are kilojoules per gram ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.174]

3.20

heat of gasification

thermal energy required to change a unit mass of material from the condensed phase to the vapour phase at a given temperature

Note 1 to entry: The typical units are kilojoules per gram ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.175]

3.21

heat release

thermal energy produced by combustion

Note 1 to entry: The typical units are joules (J).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.176]

3.22

heat release rate

burning rate (deprecated)

rate of burning (deprecated)

rate of thermal energy production generated by combustion

Note 1 to entry: The typical units are watts (W).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.177]

3.23

high voltage

HV

voltage greater than 1 kV (a.c.) or greater than 1,5 kV (d.c.)

3.24

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]

3.25

ignition

sustained ignition (deprecated)

⟨general⟩ initiation of combustion

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.187]

3.26

mineral oil

liquid conforming to IEC 60296 or IEC 60465

3.27

net heat of combustion

heat of combustion when any water produced is considered to be in the gaseous state

Note 1 to entry: The net heat of combustion is always smaller than the gross heat of combustion because the heat released by the condensation of water vapour is not included.

Note 2 to entry: The typical units are kilojoules per gram ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.237]

3.28

opacity of smoke

ratio of incident light intensity to transmitted light intensity through smoke, under specified conditions

Note 1 to entry: Opacity of smoke is the reciprocal of transmittance.

Note 2 to entry: The opacity of smoke is dimensionless.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.243]

3.29

origin fire scenario

fire scenario involving electrotechnical equipment where the electrotechnical equipment is the source of ignition

3.30

PCB

polychlorinated biphenyl

Note 1 to entry: PCB mixtures were developed as insulating liquids in the 1930s. They are known by various trade names, e.g. Aroclor™, Askarel™, Clophen™, Inerteen™ and Pyranol™².

3.31

pool fire

fire characterized by diffusion flames formed above a horizontal body of liquid fuel where buoyancy is the controlling mechanism for transport of fire effluent from the fire and transport of air to the fire

3.32

routine test

test on a number of items taken at random from a batch

3.33

sampling test

conformity test made on each individual item during or after manufacture

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-17, modified – original term was “routine test”]

3.34

tapchanger

device fitted to power transformers for regulation of the output voltage to required levels

3.35

toxic hazard

potential for harm resulting from exposure to toxic combustion products

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.337]

² Aroclor™, Askarel™, Clophen™, Inerteen™ and Pyranol™ are examples of suitable products available commercially. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of these products.

3.36**type test**

conformity test made on one or more items representative of the production

[SOURCE: IEC 60050-581:2008, 581-21-08]

3.37**victim fire scenario**

fire scenario involving electrotechnical equipment where the electrotechnical equipment is the victim of a fire of external origin

4 Classification of insulating liquids

Insulating liquids have been classified in IEC 61039 according to fire point and net heat of combustion, as shown in Table 1.

Table 1 – Classification of insulating liquids

Fire point		Net heat of combustion	
Class O	≤ 300 °C	Class 1	≥ 42 MJ/kg
Class K	> 300 °C	Class 2	< 42 MJ/kg ≥ 32 MJ/kg
Class L	No measurable fire point	Class 3	< 32 MJ/kg
EXAMPLE Mineral transformer oil (IEC 60296) has a classification of O1.			

NOTE 1 Fire point is measured using the Cleveland open cup method, ISO 2592, and is used as the primary method of classification.

NOTE 2 The determination of the flash point is sometimes used as a secondary method of classification. IEC TC10 usually adopts ISO 2719:2002 [3] in order to measure the flash point using the Pensky-Martens methodology (closed cup). If the value of the flash point determined by this method is < 250 °C, then the product is classified with the letter "O"; if the flash point is ≥ 250 °C, then the product is classified with the letter "K", and, if there is no detectable flash point, the product is classified with the letter "L".

5 Types of electrotechnical equipment containing insulating liquids

Insulating liquids are used in some designs of:

- transformers and reactors,
- capacitors,
- cables,
- bushings,
- switchgear, and
- miscellaneous power electronics (and in some other electrotechnical applications in which the liquid serves partly as an insulant, but primarily as a coolant)

In many cases, alternative designs use solid or gaseous insulation materials as an alternative to liquids. This international standard does not discuss the relative advantages and disadvantages of these alternatives.

NOTE As insulating liquids are always part of an insulating system, the fire hazard assessment of the complete system could also be of interest.

6 Fire parameters

6.1 General

The main parameters which relate to the ignition and combustion of insulating liquids are described in 6.2.

6.2 Ignition

6.2.1 General

Ignitability can be measured by fire point as described in ISO 2592.

6.2.2 Combustion

Combustion characteristics are to be considered in terms of the contribution to the fire load, the potential fire growth, and the fire hazards caused by fire effluent.

NOTE A fire may not cause the insulating liquid to burn but may cause leakage of the insulating liquid. In this case, the hazards caused by leakage should also be considered.

6.2.3 Potential fire growth

Important parameters relating to the potential fire growth are net heat of combustion, heat release rate and heat of gasification.

6.2.4 Fire effluent

The important hazardous effects of fire effluent are opacity of smoke, corrosion damage and toxic hazard.

7 Fire scenarios

7.1 General

Fire scenarios for electrotechnical equipment containing insulating liquids are described below. These fire scenarios are particularly relevant for transformers, the major end use application for insulating liquids, and in some cases for other types of electrotechnical equipment.

The fire hazard shall be assessed with reference to IEC 60695-1-10 and IEC 60695-1-11.

For electrotechnical equipment containing insulating liquids, the two types of scenario that are considered are:

- a) when the electrotechnical equipment is the source of ignition, known as an “origin fire scenario”, and
- b) when the electrotechnical equipment is the victim of a fire of external origin, known as a “victim fire scenario”.

In the origin fire scenario, fire is initiated by failure within the electrotechnical equipment. In the victim fire scenario, the insulating liquid contributes to the fire load for a fire of external origin.

7.2 Origin fire scenarios

7.2.1 General

Consideration shall be given to

- a) whether the insulating liquid can be heated to its fire point under equipment overload conditions. This could result in fire initiation if exposed to an external source of ignition;
- b) whether fire can be initiated by an uncontrolled high-energy internal arc.

Either of these situations may create internal pressure sufficient to rupture the insulating liquid container in the electrotechnical equipment. The liquid is then ejected, normally as a spray, which may be ignited. The spray burns intensely for a short period but then forms a pool, which may or may not be burning at the base of the electrotechnical equipment. Experience with Class O1 insulating liquids has shown that burning of a resultant pool fire causes most damage but no pool fires have been reported for Class K liquids.

Tests on Class K insulating liquids (known as less-flammable insulating liquids) have shown that even if spray ignites, the resulting pool of liquid rapidly ceases to burn. This is largely due to its high fire point. However, mineral oils (Class O1) are much more likely to continue to burn as a pool fire. Therefore, much of the information relating to fire damage applies to Class O1 liquids.

PCB mixtures (see 3.30 and Annex A) exhibit similar behaviour to Class K insulating liquids. The spray and dissolved gases can ignite, even though PCB mixtures are rated as Class L. The resulting pool will not continue to burn.

For many types of electrotechnical equipment, Class O1 insulating liquids are almost always used for technical and/or economic reasons. Protection against fire can then be provided by appropriate design and safe location of the electrotechnical equipment, including physical and electrical control devices (see Annex B).

Class K insulating liquids require less stringent protective measures than Class O insulating liquids (see Annexes A and C).

The major use of insulating liquids is in transformers. The following lists of major and minor fire scenarios apply to transformers and in some cases to other types of electrotechnical equipment containing insulating liquids.

Provisions shall be made for protection of people against fire effluent or other effluent from equipment containing PCB mixtures or mineral oil contaminated by PCBs. Such equipment shall be identified and dealt with in accordance with local regulations which may result in decommissioning. This is important because PCBs present a toxic hazard if decomposed thermally with or without combustion of the carrier liquid [4].

Although failures leading to a fire in electrotechnical equipment containing insulating liquids are rare, it is evident that any equipment transmitting a high level of electrical energy and containing significant quantities of flammable solid and/or liquid insulating materials presents a potential fire hazard. With good protective measures, damage caused is usually small and confined to within the container, with possible ejection of a small quantity of insulating liquid.

7.2.2 Major causes of fire

The major causes of fire in origin fire scenarios are as follows:

- a) Container damage leading to a leakage of insulating liquid, possibly in the form of a liquid spray.
- b) An increase in internal container pressure due to thermal expansion under overload or to the production of gases from the decomposition of the insulating liquid. This can result in the release of liquid and vapours from a pressure relief valve.
- c) Undetected leakage leading to a lack of circulation, resulting in overheating and a change in liquid characteristics, eventually leading to breakdown due to arcing from exposed conductors.

- d) A high energy arc, or arcs, between incoming HV terminations caused by high voltage transients, lightning or a switching surge.
- e) Low magnitude faults in the centre of HV windings, causing breakdown and decomposition of the insulating liquid into flammable gaseous components.
- f) Failure of protection to clear a fault, resulting in severe overheating and winding failure.
- g) Tapchanger faults – failure may spread to the transformer.
- h) Bushing faults in an overheated connection resulting in a cracked insulator. This can result in the slow release of insulating liquid on to the overheated connection, which may cause a fire if not detected.
- i) Cable box faults – cable boxes may be either compound-filled or oil-filled. Failure of the insulation may cause a phase-to-phase arc and the resulting high pressure could cause the cable box to burst.
- j) Oil-filled cable faults.

7.2.3 Minor causes of fire

The minor causes of fire in origin fire scenarios are as follows:

- a) An overheated connection resulting in a cracked insulator.
- b) A slow release of insulating liquid on to an overheated connection. Depending on the combustion characteristics of the liquid, this may cause a fire if not detected.

7.2.4 Pool fires

Experience with mineral oil-filled transformers has shown that, if the transformer tank is ruptured by a catastrophic failure caused by a high energy internal arc, the insulating liquid can be ejected as a spray. This spray burns intensely for a short time and can itself cause damage, but, in most recorded accidents, a considerable contribution to total fire damage was caused by the high heat release rate from the resulting burning pool of oil. For this reason, the possibility of a pool fire must be a matter for particular consideration.

7.2.5 Burning spray

Spray may burn intensely for only a short period of time. Pressure is limited by comparison with e.g. hydraulic applications, because the container in most electrotechnical equipment has only a limited pressure withstand capability.

7.2.6 Ignition on hot surface

A fault in a high current connection, external to the electrotechnical equipment, can result in a high local temperature, possibly exceeding 500 °C. If insulating liquid leaks from the electrotechnical equipment and runs over such an overheated surface, it may ignite. This will be dependent on the temperature of the surface, the ignition temperature of the liquid, and the rate of flow.

7.3 Victim fire scenarios

The electrotechnical equipment under consideration can be involved when a fire begins externally. This could include collapse of a building causing damage to the container and release of the insulating liquid into a pool which can ignite.

Another type of victim fire scenario is an interactive fire, which begins in adjacent associated electrotechnical equipment, such as connecting cables, capacitors or switchgear. For example, fire damage to connecting cables can result in a short-circuit.

Consideration shall be given to the probability that the insulating liquid can be exposed to an external fire, whether the liquid is fully contained within the electrotechnical equipment or is released after physical damage to the equipment. Important parameters are the ignitability of

the insulating liquid and, if ignition occurs, the contribution to the fire hazard of heat release and fire effluent. In a victim fire scenario, Class K (less-flammable) insulating liquids can be heated to a higher temperature than Class O insulating liquids before they will ignite in contact with an external flame and continue to burn.

8 Protective measures against fire

Protective measures against fire are as follows:

- a) the retention of the insulating liquid within the electrotechnical equipment, allowing for thermal expansion in service;
- b) provision to retain any liquid released, by means of a sump or bund;
- c) ensuring that there is a sufficient distance to the nearest building (for outdoor installations);
- d) the use of fire barriers or fire compartments;
- e) provision of a fire extinguisher or extinguishers actuated by excess temperature rise;
- f) provision of a circuit breaker or breakers actuated by pressure relief valves;
- g) provision of over-current protection; and
- h) provision of fast-acting short-circuit protection.

Annex B describes these in more detail. Some are specified by regulatory or advisory bodies with responsibility for particular geographical regions, e.g., USA, Europe and Japan.

For electrotechnical equipment installed in areas of particular fire hazard (e.g., in buildings), less stringent measures are required in the case of less flammable liquids.

Electrotechnical equipment containing quantities of insulating liquids below a specified minimum (usually about 4 litres) is exempted from many of the restrictions in such regulations, even when the liquid is Class O. In a victim fire scenario, the small quantity of insulating liquid will provide only a small addition to the fire load.

However, the electrotechnical equipment containing Class O insulating liquid could still be a cause of fire if the tank is ruptured by an internal high energy arc and flaming liquid is ejected. This could apply particularly to capacitors, smaller transformers and switchgear. It should be noted that, unlike transformers, which normally have pressure relief devices built in to avoid tank rupture, electrotechnical equipment which has no such facility will rupture if an internal arc is not extinguished by a fuse or other protective measure.

Further information is given in Annexes B and C.

9 Considerations for the selection of test methods

9.1 General

The test methods and limits selected shall be relevant to the fire scenario (see IEC 60695-1-10).

Test methods may be used for the selection of the most appropriate insulating liquid, and they may be used for type tests, sampling tests, or routine tests. Sampling and routine tests are normally used for quality control purposes.

The ignition source used in the test method has to be relevant to the actual fire scenarios. When considering origin fire scenarios the ignition source should simulate localized, internal sources of excessive heat, and ignition within electrotechnical equipment. When considering victim fire scenarios the ignition source should simulate the anticipated external source of flame or excessive heat.

9.2 Type tests

Ignitability (ease of ignition) is measured in terms of fire point (see ISO 2592).

The heat of combustion can be measured using ISO 1716. This test method measures the gross heat of combustion, but the net heat of combustion can be calculated if the hydrogen content of insulating liquid is known (see IEC 60695-8-2).

The heat release rate can be measured using a cone calorimeter according to IEC/TS 60695-8-3.

The corrosion damage, smoke opacity and toxic hazard characteristics of fire effluent can be measured in a variety of ways. IEC/TS 60695-5-2 provides a summary and relevance of test methods for corrosion damage. IEC 60695-6-2 provides a summary and relevance of test methods for smoke opacity. IEC 60695-7-2 provides a summary and relevance of test methods for toxic hazard.

9.3 Sampling tests

The open cup fire point is the most appropriate test for quality control. Open cup flash point can be measured at the same time (see ISO 2592). IEC 60944 and IEC 61203 have been written for the maintenance and testing of samples of insulating liquid taken after time in service.

The facility to take samples and measure them for quality, including flash and fire point, after time in service, is a particular advantage for the insulating liquids used in many forms of electrotechnical equipment. This is not possible with solid insulation materials.

9.4 Arc resistance tests

For transformers, methods have been developed to assess the resistance to continued low-energy arcing, and also to assess the ability to withstand specified high energy arcing without rupture of the transformer tank. These test methods are used by a US approval body [5], but have not been developed into national or international standards.

9.5 Relevance of test results to fire scenario

The hazard to life and property from fire is due to the release of heat and fire effluent.

By measuring the fire point and heat release rate of insulating liquids, and the corrosion damage, smoke opacity and toxic hazard effects of fire effluent from burning insulation liquids, the hazards associated with insulating liquids used in electrotechnical equipment can be assessed, based on the principles that:

- the higher the fire point, the more difficult is ignition, and
- if ignition occurs, the lower the heat release rate and production of fire effluent, the lower is the expected hazard and difficulty of fire fighting.

The fire behaviour of an insulating liquid depends on its properties as well as the size and geometry of its container, the presence of other combustible material and heat sources.

Annex A **(informative)**

History of insulating liquids

Mineral oil, the most commonly used insulating liquid, has been used for more than 100 years. Its first electrical industry application began in the 1890s, when higher-voltage transformers and cables were developed. The use of Impregnated porous paper and the use of other, solid, insulating materials, was necessary in order to raise working voltages by eliminating air and moisture, while also providing convective cooling where needed.

Today, mineral insulating oils used for electrical insulation are highly refined products with stabilising additives and are covered by IEC 60296 for transformers and switchgear and IEC 60465 for cables with oil ducts. Vegetable oils (particularly castor oil) have also been used and are still used today in some types of capacitors.

PCB mixtures were introduced about 1930, to replace mineral oil in transformers installed indoors or in other fire hazard locations. Transformer PCB mixtures have no measurable fire point and for this reason were regarded as non-flammable. However, it was later found that the spray of such liquids and their decomposition gases could still ignite and burn briefly if a transformer ruptured following an uncontrolled high energy internal arc failure. More seriously, the combustion products of PCB mixtures are toxic and persist in the environment, as do the undecomposed PCBs, and they pose an environmental hazard [4]. The further use and manufacture of PCBs has been prohibited worldwide.

To replace transformer PCBs, insulating liquids (including silicones, esters and high molecular weight hydrocarbons) with fire points above 300 °C came into use in the 1970s. It was shown that their behaviour in a high energy arc transformer failure was similar to that of PCB mixtures. Though ejected spray might be decomposed and ignited by the arc, burning was only of short duration.

More than 150 000 transformers containing Class K (less flammable) insulating liquids are in service, with an excellent fire safety record. Unlike PCB mixtures, these Class K insulating liquids do not pose a similar environmental hazard.

Until 1970, PCB mixtures were also used in capacitors. After their withdrawal, changes in capacitor design led to the introduction of other synthetic liquids, particularly low-viscosity aromatic hydrocarbons. These generally comply with IEC 60867 [6]. Unlike PCB mixtures, the fire point of these low viscosity synthetic aromatic liquids is about 165 °C.

Insulating liquids for cables were originally based on mineral oils produced from the refining of crude oil, but since the 1960s synthetic aromatic hydrocarbon liquids have also been used. IEC 61100 [7] was issued in 1992, which classifies insulating liquids according to their fire-point and net heat of combustion. This has since been superseded by IEC 61039.

More than 90 % of all insulating liquids now in use are in the most flammable classification of IEC 61039, Class O1. The fire safety record of electrotechnical equipment containing all types of insulating liquids is generally good. There have been some serious fire incidents involving Class O1 liquids but it is important to note that millions of transformers containing mineral oil in this classification are in service globally and that such incidents are rare. Class L3 insulating liquids have also been involved in serious fire incidents due primarily to the ensuing environmental pollution and clean-up costs.

For these reasons, fire hazard analysis and appropriate protective measures are of great importance.

Annex B (informative)

Preventive and protective measures against fire

B.1 General

Some of the measures listed below pertain specifically to transformers, others relate to liquid-filled devices in general. Application of these measures also depends on the particular type and insulation system of the electrotechnical equipment, the assessed fire hazard of its location and relevant local and/or national fire safety regulations.

B.2 Physical protective measures

- a) The use of pressure relief devices.

NOTE Pressure relief devices offer only limited protection with high energy faults, though they may prevent shock waves in case of explosion, but they offer good protection with low energy faults in a victim fire scenario.

- b) Conformance with an appropriate burst strength requirement for the containment.
- c) The use of fire barriers.
- d) Provision of a bund around and under transformers.
- e) Installation in a vault.
- f) Provision of automatic fire extinguishers.
- g) The use of corrugated containers for expansion due to temperature increase or gas production.
- h) The use of a nitrogen (or other inert gas) blanket.

B.3 Chemical protective measures

- a) The use of non-flammable or high fire point insulation liquids.
- b) Conformance with an appropriate minimum breakdown voltage requirement for the insulating liquid.

B.4 Electrical protective measures

- a) The use of internal or external power fuses.
- b) The use of internal or external current limiting fuses.
- c) The use of other internal or external overcurrent limiting devices.

B.5 Sensing devices

- a) Coil or insulating liquid temperature alarms with trip-switches.
- b) Overpressure alarms with trip-switches.
- c) Gas detection (Buchholz) relays.

B.6 Maintenance and inspection

- a) Visual inspection of the equipment.
- b) Electrical testing of the equipment and the insulating liquid.
- c) Chemical testing of the insulating liquid for signs of degradation.
- d) Dissolved gas analysis (DGA).

e) Analysis for the PCB content of new or used insulating liquid.

NOTE Fire effluent from a PCB contaminated insulating liquid may contain toxic furans and dioxins. The levels of PCBs in insulating liquids above which this may occur are not known precisely. Acceptable levels are usually considered to be the same as for spills in the environment, in accordance with local and/or national regulations. When these levels are exceeded, special protection measures are required for fire-fighters and for cleaning the environment after the fire.

f) Review of equipment design with the manufacturer (for those types of electrotechnical equipment which are prone to fire or explosion in service).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-40:2013

Annex C (informative)

Transformers

C.1 General

The text contained in C.2 is intended to provide general guidance on the fire protection of different types of transformer, but it is usually necessary to consider each specific application in detail to ensure the best choice is made, and different types of transformers will often be used in different applications and environments on the same project.

C.2 Transformer choice

The choice of a transformer for a particular application depends on many factors. Large power transformers operating at voltages in the range 33 kV to 400 kV and above are commonly filled with highly refined mineral oil. These transformers are usually installed outdoors and the foundations on which they stand are designed to provide pebble filled containment of any oil leakage. By using this method, the likelihood of a pool fire is minimised. Where fire safety is critical, such as within underground installations, Class K fluids may be used to fill large power transformers.

This type of transformer is fitted with overcurrent and earth fault protection, differential protection, winding temperature protection and an oil temperature alarm with a trip-switch. Such transformers are also fitted with an oil conservator and an oil level alarm with a trip-switch, and a Buchholz gas and surge operated relay that will give an alarm and trip in the event of gas production or discharge faults.

Large power transformers are fitted with on-load tapchangers, and failures within these complex switching units can cause damage to the transformer.

Outdoor transformers are sited away from buildings and protected from access by the public. In addition, water deluge fire protection systems may be fitted to transformers filled with Class O liquids.

Many large power transformers are mounted inside noise abatement enclosures, usually of substantial concrete or brick construction, which also contributes to fire protection.

Multiple transformers are frequently separated by blast walls to prevent the catastrophic failure of one unit from affecting an adjacent unit.

Public distribution transformers in the range 100 kVA to 1 000 kVA are mineral oil or Class K fluid filled and can be housed outdoors, in enclosures of steel, concrete or GRP, or in designated secure substations within buildings.

Secondary distribution systems with fuses or circuit breakers limit the duration of short circuits, and circuit breakers or fused HV protection will disconnect the supply rapidly, should an internal fault occur.

For indoor installations, provision is required for liquid retention and, as a minimum, portable fire extinguishers suitable for electrical fires should be available. The use of mineral oil filled transformers inside buildings tends to be restricted to specially designated areas, e.g. in basements or car parks, where it is unlikely that they will ever be involved in a building fire.

Transformers for industrial applications where there is a significant fire hazard may be specified to be filled with a Class K fire resistant liquid with a fire point greater than 300 °C. These transformers may be installed outside buildings or inside in designated substations.

This type of transformer is usually hermetically sealed and the tank may be of the corrugated expanding type or have a nitrogen-filled expansion headspace.

In addition to the standard electrical protection, a pressure relief valve may be fitted to the tank to release gases generated by a fault and also to trip the incoming supply.

Inside public buildings, especially high rise or where large crowds of people are expected to gather, the fire performance becomes of paramount importance. Depending on local regulations and practice, dry-type transformers, which do not require provision for insulating liquid retention, are sometimes preferred, especially in Europe. International practice varies and each specific insulation must be considered in detail.

Several standards and technical papers refer to transformer fire performance. Examples include: IEC 60076-8 [8], IEC 61330 [9] and ISO 14000 [10].

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-40:2013

Annex D (informative)

Power capacitors

There are few reported fires originated by insulating liquid-filled HV capacitor packs, partly because they are now well protected by external or internal fuses, fast acting protection relays or surge arresters.

Because of the possibility that a capacitor unit might rupture, capacitor packs in sub-stations are surrounded by a protective barrier. Most failures are not followed by fires.

However, special attention should be given to installations where PCB mixture-filled capacitors are near to other equipment that may either cause or contribute to a fire, because highly toxic fire effluent results from the thermal decomposition of the PCB mixtures.

Capacitor units each contain only a small volume of insulating liquid of which only a smaller amount (typically 10 % to 20 %) is free liquid that can spill and contribute to a pool fire. In many low voltage applications, banks of insulating liquid-filled capacitors are installed inside industrial or commercial buildings. For such installations, the capacitor bank is normally located so as to restrict access and to minimise the contribution of the capacitors to the hazards of a building fire.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-40:2013

Annex E (informative)

Cables

E.1 Power cables

Insulating liquids are necessary to impregnate all power cables in which the principal insulation is paper. The main functions of the liquid are:

- to form part of the liquid/paper dielectric insulation. A metallic sheath is necessary to prevent water absorption;
- to suppress electrical discharges which could cause failure, by pressurisation of the liquid to exclude gas-filled voids under all operating conditions in cables designed to operate at high electric stress, and
- to increase the thermal conductivity of the insulation in order to maximise the cable current rating.

Power cables with solid insulation are increasingly being specified for new installations, but large quantities of impregnated power cables are installed worldwide and remain in service with an expected life of many years. For some applications such as submarine power distribution, and systems with rated voltages above 275 kV, impregnated paper remains the insulation medium of choice.

NOTE Communication cables may also contain impregnants, such as petroleum jelly, which are used to block longitudinal water penetration.

Power cable impregnants can be divided into the following types:

- a) oil mixtures with viscosities ranging from $> 10\,000$ centistokes (cSt) at $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to less than 10 cSt at high temperature. Currently used oils are typically characterised by the viscosity curve shown in Figure E.1. These liquids typically have open cup flash points above $220\text{ }^{\circ}\text{C}$. In a fire situation, the liquid will drain under gravity or because of thermal expansion, but will not provide a continuing source of combustible liquid.

NOTE 1 Medium voltage impregnated-paper a.c. cables are no longer produced in Europe, but many hundreds of km of such cables remain in service.

NOTE 2 High voltage d.c. cables for long runs use this type of oil.

NOTE 3 The quoted viscosities are kinematic viscosities ($1\text{ cSt} = 1\text{ mm}^2\text{s}^{-1}$).

- b) low viscosity liquids (e.g. <15 cSt at ambient and service temperatures) with typical open cup flash points above $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. These liquids are used in a.c. cables as described in IEC 60141-1 [11]. In an external fire, the insulating liquid will be expelled under pressure from its reservoir tank until the reservoir is exhausted which could involve hundreds of litres of liquid;
- c) very low viscosity liquids (e.g. <5 cSt at ambient temperature) with typical open cup flash points of approximately $115\text{ }^{\circ}\text{C}$. These liquids are used in long length a.c. and d.c. submarine cables. Reservoirs contain several tens of cubic metres under vacuum. Hydraulic pressures may be in the order of 20 bar to 25 bar.

Most of these impregnants are based on hydrocarbons, and are therefore flammable. In the case of buried cables, fire hazard is limited except in locations where the cable is exposed to free air as in joint bays or chambers, tunnels, shafts or risers, unfilled ducts or inside buildings such as switching stations. However, it is in such locations where the cable is most likely to be involved in a fire and the consequences most serious.

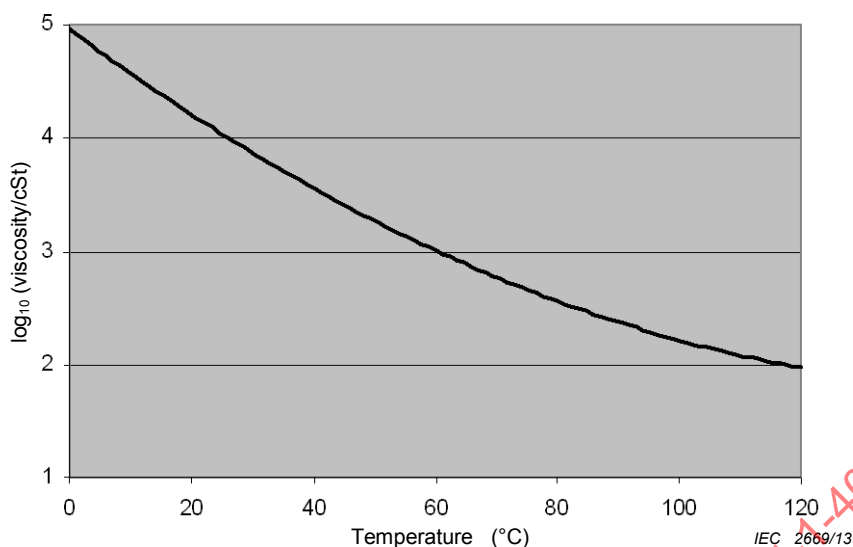


Figure E.1 – Oil viscosity

In situations where the fire hazard is relatively high, some cables have been impregnated with liquids based on silicones with high flash and fire points, to reduce the fire hazard associated with hydrocarbon cable insulating liquids [12]. Such cables are not in general use because of the relatively high cost of the insulating liquid and the requirement for special cable production and processing facilities. Gels in communication cables are based on either hydrocarbons or silicones.

E.2 Communication cables

Impregnants used in communication cables, with either metallic conductors or optical fibres are viscous gels at ambient temperature (which is usually also the service temperature) but may be liquid at higher temperatures. Their open cup flash point is typically greater than 200 °C. In an external fire, if the impregnant liquefies and if the cable sheath is ruptured, it will drain under gravity or because of thermal expansion, but will not provide a continuing source of combustible liquid.

E.3 Cables with water blocking compounds

Communication and power cables with solid insulation, but in which gels or greases are used for water blocking, may be tested as complete cables for fire safety. Water blocking compounds should not liquefy at maximum service temperatures (typically 80 °C).

E.4 Cable terminations

Cable terminations for higher voltages may contain up to 100 litres of low or very low viscosity liquid in a ceramic or composite enclosure.

Annex F **(informative)**

Bushings

Bushings, shields and HV (high voltage) leads on transformers should be given particular attention to minimise fire hazard. Although these components are often considered only as accessories, they are the major origin of fires (about 80 %) involving transformers filled with Class O1 (IEC 61039) insulating liquid (mineral oil).

Failures of bushings often result in porcelain sheds being cracked or fragments being projected over a wide area. Oil sprayed into the surrounding atmosphere through the cracked or fractured bushings may be ignited by the arc associated with the fault.

If the fault is in the upper part of the bushing, usually only relatively small fires are caused, which do not spread further than the HV bushing. Breakdown of the HV bushing shield or HV lead, however, may cause rupture of: a) the connection between the bushing and the container, b) the turret, or c) even the container itself, with more severe spray burning and pool fire involving large amounts of oil from the container.

In the most extreme cases, fire balls some five times higher than the transformer have been observed following explosion of a bushing.

However, to put this into perspective, fire occurs in only a minority of transformer failures (typically less than 13 % according to one report [13]).

Physical protection measures against fires and explosions of HV bushings in service are in general difficult or impossible to put in place, owing to the size and location of the equipment. When a particular type of bushing is prone to such failures, access to the site is usually first limited, then changes to the design of the equipment are discussed with the manufacturer to improve safety and reliability.

Mineral oil in the transformer bushing and the transformer tank are usually in the same IEC 61039 class (e.g. Class O1). However, brands may differ, especially in replacement bushings already filled with oil by the manufacturer.

Class K liquids (IEC 61039) minimise fire hazard when used in bushings as in other equipment (see Annex A) but are only used in a minor proportion of equipment (less than 10 %).

Annex G (informative)

Switchgear

This annex covers oil-filled circuit breakers, oil-filled switches and on-load transformer tapchangers, all of which are normally filled with Class O (IEC 61039) insulating liquid (mineral oil to IEC 60296). In practice, the safety record of all three types is good and the failure rate is very low. In some areas, especially circuit breaking, new technologies allow the replacement of oil, but many oil-filled units will remain in service for some time.

Each of these types of switchgear contains only a small volume of insulating liquid and, in the event of a fire, would make a small contribution to the fire load in a victim fire scenario. Tapchangers however are attached to transformers and malfunction could cause ignition of the larger volume of oil in the transformer.

The main hazard posed by circuit breakers and switches is in the origin of a fire, and such a fire is most likely to be initiated by an uncontrolled high energy internal arc due to insulation failure within the equipment. To minimise this hazard, it is important to maintain the electrical insulation properties of both the insulating liquid and the solid insulation materials used in their construction.

Mineral oil for this application should conform to IEC 60296 and in particular should be clear and free from sediment and suspended matter, especially fibrous materials. The oil should also be dried to remove moisture before use to ensure high volume resistivity.

Under ideal conditions, oil-filled equipment would be hermetically sealed from its surroundings. However, most oil-filled switchgear is free breathing and the moisture content of the oil inside the container will attain equilibrium with the environment. Great care is necessary on the part of designers and manufacturers to ensure operational compatibility between any solid insulation and oil.

Contamination of equipment can occur in service and, to maintain a low failure rate, operators should establish inspection and maintenance programmes. These practices should also be designed to minimise contamination of the equipment and any replacement oil used.

If the oil inside the switchgear becomes seriously contaminated, electrical failure can occur in the form of an electrical short circuit in the oil or, more commonly, across an interface between oil and solid insulation. These short circuit fault currents are large, and back-up electrical protection will limit their duration. However, oil may vaporise in the vicinity of the short circuit arc and this can generate sufficient ignitable gas to cause catastrophic failure. To minimise any risk to personnel and surrounding buildings, attention to safety should be given at the substation design stage.

Bibliography

- [1] IEC Guide 104, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*
 - [2] ISO/IEC Guide 51, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*
 - [3] ISO 2719:2002, *Determination of flash point – Pensky-Martens closed cup method*
 - [4] LESSARD, M-C. et al., *Impact of a Fire in Electrical Equipment Containing Insulating Oil Contaminated with Polychlorinated Biphenyls*, CIGRE 2012, C3-101
 - [5] HALLERBERG, P.E., *Less-flammable liquids used in transformers*, Underwriters Laboratories Inc. IEEE Industrial Applications Magazine, Vol.5, No. 1, January 1999
 - [6] IEC 60867, *Insulating liquids – Specifications for unused liquids based on synthetic aromatic hydrocarbons*
 - [7] IEC 61039, *Classification of insulating liquids*
 - [8] IEC 60076-8, *Power transformers – Part 8: Application guide*
 - [9] IEC 62271-202, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 202: High-voltage/low-voltage prefabricated substation*
 - [10] ISO 14000, *Environmental management systems*
 - [11] IEC 60141-1, *Tests on oil-filled and gas-pressure cables and their accessories – Part 1: Oil-filled, paper or polypropylene paper laminate insulated, metal-sheathed cables and accessories for alternating voltages up to and including 500 kV*
 - [12] LANFRANCONI G.M., VERCELLIO, B., *Fire-retardant oil-filled cables*, paper 21-11, 1986
 - [13] FOATA, M., *Power transformer tank rupture*, Proceedings of the Annual Meeting of the Canadian Electrical Association, Toronto, 1994
- IEC 60055-1, *Paper-insulated metal-sheathed cables for rated voltages up to 18/30 kV (with copper or aluminium conductors and excluding gas-pressure and oil-filled cables) – Part 1: Tests on cables and their accessories*
- IEC 60708:2005, *Low-frequency cables with polyolefin insulation and moisture barrier polyolefin sheath*
- IEC 60794-1-1:2011, *Optical fibre cables – Part 1-1: Generic specification – General*
- IEC 60836:2005, *Specifications for unused silicone insulating liquids for electrotechnical purposes*
- IEC 60963:1988, *Specification for unused polybutenes*
- IEC 61099:2010, *Insulating liquids – Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes*
- IEC 61144:1992, *Test method for the determination of oxygen index of insulating liquids*

IEC 61197:1993, *Insulating liquids – Linear flame propagation – Test method using a glass-fibre tape*

IEC 62271-105:2012, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 105: Alternating current switch-fuse combinations for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV*

CHAN, J.C. McALISTER, R.C. and COMETA, R. *Flame-retardant Insulating Liquids for Oil-Paper Power Cables*. IEEE International Symposium, Boston, USA, 1988

DIRNBOCK, J., PREISS, P. and SCHIFFER, *Der Silicontransformator im Brandgeschehen*, R.S. ETZ No. 16, 1984 (only available in German)

FALTERMEIER, J.F and GUILBERT, B. *Trafos in der Feuertaufe*, Betriebs Technik, August 1990 (only available in German)

GIFFORD, L.N. and ORBECK, T. *Evaluation of the long-term capability of a high-temperature insulation system using silicone liquid as a dielectric coolant*, IEEE transactions. Industrial applications 1984

GUILBERT, B. and FALTERMEIER, J.F. *Un nouveau transformateur HTA/BT pour les réseaux ruraux de distribution publique* Revue générale d'électricité, December 1992, No. 11 (only available in French)

NORTHRUP, S.D. *The evaluation of less-flammable transformer liquids*, 5th BEAMA International Electrical Insulation Conference, 1986

PECK, G.C. *Fire and explosion hazards of liquid-filled electrical equipment. Part 1, An overview. Part 2, Distribution transformers*. The Insurance Technical Bureau (London). Publication R84/148, 1984

VUARCHEX, P. *Huiles et liquides isolants*, Techniques de l'ingénieur, June 1995 (only available in French)

WADDINGTON, F.B. *A new synthetic ester fluid for transformers*, Proceedings IEEE/NEMA Electrical/Electronic Insulation Conference, Boston, USA, 3-11 1979, pp 211-213

WILSON, A.C.M. *Insulating Liquids: their use, manufacture and properties*, Peter Perignus Ltd., 1980

Requirements and tests applicable to fire-resistant hydraulic fluids used for power transmission and control, Doc. No. 6746/10/91/EN, April 1994. European Commission

YASHIDA et al., *Evolution of power capacitors as a result of new material development*, CIGRE Report 15.01, 1980

Modern power transformer practice, (Editor: R. Feinberg). John Wiley and Sons, New York, 1979

PCB Capacitor fire at IREQ's high-voltage laboratory and subsequent decontamination, Proceedings 1985 EPRI PCB Seminar. Report CS/EA/EL-4480. pp 9-17 to 9-20, 1986

AEIC C52-82, *Specifications for impregnated-paper insulated cable, pressure type*

CENELEC HD 637 S1, *Power installations exceeding 1 kV a.c.*, 1999

NFC 17300, *Conditions d'utilisation des diélectriques liquides. Première partie; Risques d'incendie* (only available in French)

NFPA 70, *National Electrical Code*® -2011 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, USA

IEEE Std 241-1990, *Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings*

IEEE Std 1221-1993, *Guide for Fire Hazard Assessment of Electrical Insulating Materials in Electrical Power Systems*

Factory Mutual Loss Prevention Data Sheet. *Transformers* (5-4) (14-8) January 1997

Factory Mutual Approval Standard 6933. *Less-Flammable Transformer Fluids*, 1979

Review on Insulating Liquids. CIGRE WG 15.02. April 1997

DICKSON, M.R. *The low-flammability transformer*, ERA Report 87-0021, 1987

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-40:2013

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	34
INTRODUCTION	36
1 Domaine d'application	37
2 Références normatives	37
3 Termes et définitions	38
4 Classification des liquides isolants	43
5 Types d'équipements électrotechniques contenant des liquides isolants	44
6 Paramètres de feu	44
6.1 Généralités	44
6.2 Allumage	44
6.2.1 Généralités	44
6.2.2 Combustion	44
6.2.3 Croissance potentielle du feu	44
6.2.4 Effluents du feu	44
7 Scénarios d'incendie	45
7.1 Généralités	45
7.2 Scénarios d'incendie origine	45
7.2.1 Généralités	45
7.2.2 Causes majeures d'incendie	46
7.2.3 Causes mineures d'incendie	46
7.2.4 Feux de flaque	47
7.2.5 Projection se consumant	47
7.2.6 Allumage sur une surface chaude	47
7.3 Scénarios d'incendie victime	47
8 Mesures de protection contre le feu	47
9 Considérations pour la sélection des méthodes d'essai	48
9.1 Généralités	48
9.2 Essais de type	49
9.3 Essais par échantillonnage	49
9.4 Essais de résistance à l'arc	49
9.5 Pertinence des résultats d'essai des scénarios d'incendie	49
Annexe A (informative) Historique des liquides isolants	50
Annexe B (informative) Mesures de prévention et de protection contre le feu	52
B.1 Généralités	52
B.2 Mesures de protection physique	52
B.3 Mesures de protection chimique	52
B.4 Mesures de protection électrique	52
B.5 Capteurs	52
B.6 Maintenance et examen	52
Annexe C (informative) Transformateurs	54
C.1 Généralités	54
C.2 Choix de transformateur	54
Annexe D (informative) Condensateurs de puissance	56

Annexe E (informative) Câbles.....	57
E.1 Câbles de puissance.....	57
E.2 Câbles de communication	58
E.3 Câbles avec mélanges arrêtant l'eau	58
E.4 Terminaisons de câble	59
Annexe F (informative) Traversées	60
Annexe G (informative) Appareillage de connexion	61
Bibliographie.....	62
 Figure E.1 – Viscosité de l'huile	 58
 Tableau 1 – Classification des liquides isolants	 43

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-40:2013

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 1-40: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Liquides isolants

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 CEI 60695-1-40 a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

Cette première édition de la CEI 60695-1-40 annule et remplace la première édition de la CEI/TS 60695-1-40 publiée en 2002. Elle constitue une révision technique et a désormais le statut d'une Norme internationale.

Les principales modifications apportées par rapport à la première édition de la CEI/TS 60695-1-40 sont l'intégration de modifications rédactionnelles et techniques dans tout le texte.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
89/1191/FDIS	89/1200/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/CEI, Partie 2.

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

La présente Norme internationale est à utiliser conjointement avec la CEI 60695-1-10.

La CEI 60695-1 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 des risques du feu des produits électrotechniques – Evaluation des risques 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: *Lignes directrices 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 la CEI 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

La conception de tout produit électrotechnique nécessite de tenir compte du risque de feu et des dangers potentiels associés au feu. A cet égard, la conception des composants, circuits et produits ainsi que le choix des matériaux ont pour objectif de réduire à des niveaux acceptables les risques potentiels de feu même en cas d'utilisation anormale prévisible, de dysfonctionnement ou de défaillance.

Depuis plus de 100 ans, on utilise les liquides isolants à base d'huile minérale pour l'isolation et le refroidissement des transformateurs électriques et de certains autres types d'équipements électrotechniques.

Au cours des 70 dernières années, des liquides isolants de synthèse ont été développés et utilisés dans des applications électrotechniques spécifiques pour lesquelles leurs propriétés sont particulièrement adaptées. Cependant, pour des raisons techniques et économiques, l'huile minérale raffinée à un degré élevé reste le liquide isolant le plus largement utilisé dans les transformateurs, principale application de leur utilisation finale. Leur installation dans des conditions assurant la sécurité est couverte par des règlements locaux, nationaux et internationaux.

Le registre de sécurité au feu des équipements électrotechniques contenant des liquides isolants s'applique à la fois pour l'huile minérale et pour les liquides de synthèse. Au cours des dernières années, des améliorations dans la conception et des mesures de protection contre le feu ont réduit le danger d'incendie des équipements électrotechniques contenant de l'huile minérale. Cependant, comme pour toutes les catégories d'équipements électrotechniques, il convient que l'objectif soit de réduire la probabilité de feu même en cas d'utilisation anormale prévisible.

L'objectif pratique est d'empêcher un allumage, mais si l'allumage intervient, de circonscrire l'incendie de préférence dans les limites de l'enceinte de l'équipement électrotechnique.

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 1-40: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Liquides isolants

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit des lignes directrices pour la minimisation du danger d'incendie dans le cadre de l'utilisation de liquides isolants électriques

- a) pour les équipements et systèmes électrotechniques,
- b) pour les personnes, les structures des bâtiments et leur contenu.

Cette publication fondamentale de sécurité est destinée à être utilisée par les comités d'études pour l'établissement de leurs normes conformément aux principes exposés dans le Guide 104 de la CEI [1]¹ et dans le Guide ISO/CEI 51 [2]. Elle n'est pas destinée à être utilisée par les fabricants ou les organismes de certification.

Une des responsabilités d'un comité d'études est d'utiliser, à chaque fois qu'elles sont applicables, les publications fondamentales de sécurité dans la préparation de ses publications.

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).

CEI 60050, *Vocabulaire électrotechnique international*

CEI 60296, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion*

CEI 60465, *Spécification pour huiles minérales isolantes neuves pour câbles à circulation d'huile*

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

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

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

CEI 60695-6-2, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 6-2: Opacité des fumées – Résumé et pertinence des méthodes d'essais*

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

CEI 60695-7-2, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 7-2: Toxicité des effluents du feu – Résumé et pertinence des méthodes d'essai*

CEI 60695-8-2, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 8-2: Dégagement de chaleur – Résumé et pertinence des méthodes d'essais*

CEI 60944, *Guide de maintenance des liquides silicones pour transformateurs*

CEI 61039, *Classification des liquides isolants*

CEI 61203, *Esters organiques de synthèse à usages électriques – Guide de maintenance des esters pour transformateurs dans les matériels*

CEI/TS 60695-5-2, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 5-2: Effets des dommages de corrosion des effluents du feu – Résumé et pertinence des méthodes d'essai*

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

ISO 1716, *Essais de réaction au feu de produits – Détermination du pouvoir calorifique supérieur (valeur calorifique)*

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

ISO 13943:2008, *Sécurité au feu – Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 13943:2008 et dans la CEI 60695-4:2012, dont certains sont repris ci-dessous pour des raisons de commodité de l'utilisateur, ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1

arc

claquage électrique d'un gaz produisant une décharge de plasma entretenue du fait d'un courant électrique circulant dans un milieu généralement non-conducteur, tel que l'air

3.2

mur de protection

mur extérieur ou réservoir conçu pour retenir le contenu d'un récipient interne en cas de fuite ou de déversement

Note 1 à l'article: Il convient qu'un muret de rétention soit conçu pour contenir le volume excédentaire des liquides retenus dans la zone de rétention.

3.3

traversée

gaine isolante pratiquée dans une ouverture par laquelle passe un conducteur

3.4

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 et/ou d'incandescence.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.46]

3.5**dommage de corrosion**

dommage physique et/ou chimique, ou bien détérioration de fonctions, produit par action chimique

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.56]

3.6**enceinte**

⟨électrotechnique⟩ enveloppe qui protège les parties mécaniques et électriques d'un appareillage

Note 1 à l'article: Ce terme exclut les câbles.

[SOURCE: CEI 60695-4:2012, 3.2.6]

3.7**feu**

⟨général⟩ processus de combustion caractérisé par l'émission de chaleur et d'effluents du feu et accompagné généralement par de la fumée, des flammes, 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 et fire, se rapportent à des types spécifiques de combustion auto-entretenu 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]

3.8**effluents du feu**

ensemble des gaz et aérosols, y compris les particules en suspension, dégagés par combustion ou par pyrolyse au cours d'un feu

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.105]

3.9**croissance du feu**

étape de développement du feu au cours de laquelle le débit calorifique et la température du feu augmentent

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.111]

3.10**danger d'incendie**

objet physique ou condition susceptible d'entraîner des conséquences non souhaitables causées par un incendie

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.11**charge calorifique**

quantité de chaleur susceptible d'être produite par la combustion complète de tous les matériaux combustibles contenus dans un volume, y compris les revêtements de toutes les surfaces périphériques

Note 1 à l'article: La charge calorifique peut être établie à partir de la chaleur effective de combustion, du pouvoir calorifique supérieur ou du pouvoir calorifique inférieur à la demande du prescripteur.

Note 2 à l'article: Le mot "charge" peut être utilisé pour désigner la force, la puissance ou l'énergie. Dans ce contexte, il est utilisé pour désigner l'énergie.

Note 3 à l'article: Elle est exprimée en kilojoules (kJ) ou en mégajoules (MJ).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.114]

3.12 **point de feu**

température minimale à laquelle un matériau soumis à une petite flamme 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).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.119]

3.13 **risque d'incendie**

combinaison entre la probabilité qu'un incendie se produise et les conséquences particulières quantifiées qui en découlent

Note 1 à l'article: Il est souvent calculé comme le produit de la probabilité et des conséquences.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.124]

3.14 **scénario d'incendie**

description qualitative du déroulement d'un incendie 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 et de croissance du feu, le stade de feu complètement développé, 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]

3.15 **flamme**, nom

zone dans laquelle se produit une propagation subsonique, auto-entretenu et rapide de la combustion dans un milieu gazeux, généralement accompagnée d'une émission de lumière

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.133 – modifiée par l'addition de "zone dans laquelle se produit"]

3.16 **inflammabilité**

aptitude d'un matériau ou d'un produit à brûler avec flamme dans des conditions spécifiées

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.151]

3.17 **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 dans des conditions spécifiées

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

[SOURCE: ISO 13943:2008, définition 4.154]

3.18

pouvoir calorifique supérieur

chaleur de combustion d'une substance lorsque la combustion est complète et que toute l'eau produite est entièrement condensée dans des conditions spécifiées

Note 1 à l'article: Il est exprimé en kilojoules par gramme ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.170]

3.19

chaleur de combustion

énergie thermique dégagée par la combustion d'une unité de masse d'une substance donnée

Note 1 à l'article: Elle est exprimée en kilojoules par gramme ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.174]

3.20

chaleur de gazéification

énergie thermique nécessaire pour faire passer une unité de masse d'un matériau de la phase condensée à la phase vapeur à une température donnée

Note 1 à l'article: Elle est exprimée en kilojoules par gramme ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.175]

3.21

dégagement de chaleur

énergie thermique dégagée par la combustion

Note 1 à l'article: Il est exprimé en joules (J).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.176]

3.22

débit calorifique

vitesse de combustion (déconseillé)

énergie calorifique produite par unité de temps par la combustion

Note 1 à l'article: Il est exprimé en watts (W).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.177]

3.23

haute tension

HT

tension supérieure à 1 kV (courant alternatif) ou supérieure à 1,5 kV (courant continu)

3.24

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]

3.25

allumage

allumage persistant (déconseillé)
(général) amorçage de la combustion

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.187]

3.26

huile minérale

liquide conforme à la CEI 60296 ou à la CEI 60465

3.27

pouvoir calorifique inférieur

pouvoir calorifique où l'eau formée par la combustion est considérée être à l'état gazeux

Note 1 à l'article: Le pouvoir calorifique inférieur est toujours plus petit que le pouvoir calorifique supérieur car la quantité de chaleur dégagée par la condensation de la vapeur d'eau n'y est pas incluse.

Note 2 à l'article: Il est exprimé en kilojoules par gramme ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.237]

3.28

opacité de la fumée

rapport de l'intensité lumineuse incidente à l'intensité lumineuse transmise à travers la fumée, dans des conditions spécifiées

Note 1 à l'article: L'opacité de la fumée est l'inverse de la transmittance.

Note 2 à l'article: L'opacité de la fumée est une grandeur sans dimension.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.243]

3.29

scénario d'incendie origine

scénario d'incendie impliquant les équipements électrotechniques qui constituent la source d'allumage

3.30

PCB

polychlorobiphényles

Note 1 à l'article: Les mélanges de PCB ont été développés en tant que liquides isolants dans les années trente. Ils sont désignés par diverses marques commerciales, par exemple, Aroclor™, Askarel™, Clophen™, Inerteen™ et Pyranol™².

3.31

feu de flaque

feu caractérisé par la formation de flammes de diffusion au-dessus d'une masse horizontale de combustible liquide où la flottabilité est réalisée par le mécanisme de contrôle du transport des effluents de feu provenant du feu et du transport de l'air en direction du feu

² Aroclor™, Askarel™, Clophen™, Inerteen™ et Pyranol™ sont des exemples de produits appropriés disponibles sur le marché. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que la CEI approuve ou recommande l'emploi exclusif des produits ainsi désignés.

3.32**essai individuel de série**

essai effectué sur un certain nombre d'entités prélevées au hasard dans un lot

3.33**essai par échantillonnage**

essai de conformité effectué sur chaque entité en cours ou en fin de fabrication

[SOURCE: CEI 60050-151:2001, 151-16-17, modifié – terme originel était “essai individuel de série”]

3.34**changeur de prise**

dispositif installé sur les transformateurs de puissance destiné à maintenir la tension de sortie aux niveaux exigés

3.35**danger toxique**

dommage potentiel résultant de l'exposition à des produits de combustion toxiques

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.337]

3.36**essai de type**

essai de conformité effectué sur un ou plusieurs échantillons représentatifs de la production

[SOURCE: CEI 60050-581:2008, 581-21-08]

3.37**scénario d'incendie victime**

scénario d'incendie impliquant les équipements électrotechniques qui sont victimes d'un feu d'origine extérieure

4 Classification des liquides isolants

Les liquides isolants ont été classés dans la CEI 61039 selon leur point de feu et leur pouvoir calorifique inférieur comme indiqué au Tableau 1.

Tableau 1 – Classification des liquides isolants

Point de feu		Pouvoir calorifique inférieur	
Classe O	≤300 °C	Classe 1	≥42 MJ/kg
Classe K	>300 °C	Classe 2	<42 MJ/kg ≥32 MJ/kg
Classe L	Pas de point de feu mesurable	Classe 3	<32 MJ/kg
EXEMPLE L'huile minérale pour transformateurs (CEI 60296) est classée O1.			

NOTE 1 Le point de feu est mesurée en appliquant la méthode Cleveland à vase ouvert, ISO 2592, utilisée comme la méthode primaire de classification.

NOTE 2 La détermination du point d'éclair est parfois utilisée comme une méthode secondaire de classification. Le TC 10 de la CEI adopte généralement l'ISO 2719:2002 [1] pour mesurer le point d'éclair avec la méthodologie Pensky-Martens (vase clos). Si la valeur du point d'éclair déterminée avec cette méthode est < 250 °C, le produit

est alors classé avec la lettre "O"; si le point d'éclair est ≥ 250 °C, le produit est alors classé avec la lettre "K", et en l'absence de point d'éclair détectable, le produit est classé avec la lettre "L".

5 Types d'équipements électrotechniques contenant des liquides isolants

Les liquides isolants sont utilisés pour certains modèles des équipements suivants:

- transformateurs et bobines d'inductance,
- condensateurs,
- câbles,
- traversées,
- appareillage de connexion, et
- dispositifs divers d'électronique de puissance (et de quelques autres applications électrotechniques dans lesquelles le liquide sert en partie d'isolant mais en premier lieu de liquide de refroidissement)

Dans de nombreux cas, des conceptions alternatives utilisent des matériaux d'isolation solides ou gazeux à la place des liquides. La présente Norme internationale ne traite pas des avantages et des inconvénients relatifs de ces solutions alternatives.

NOTE Comme les liquides isolants font toujours partie d'un système d'isolation, l'évaluation de danger d'incendie du système complet pourrait aussi être intéressante.

6 Paramètres de feu

6.1 Généralités

Les principaux paramètres qui concernent l'allumage et la combustion des liquides isolants sont décrits dans 6.2.

6.2 Allumage

6.2.1 Généralités

L'allumabilité peut être mesurée avec le point de feu comme décrit dans l'ISO 2592.

6.2.2 Combustion

Les caractéristiques de combustion doivent être prises en compte en termes de contribution à la charge calorifique, à la croissance potentielle du feu et aux dangers d'incendie causés par les effluents du feu.

NOTE Un feu peut ne pas provoquer l'inflammation du liquide isolant mais peut engendrer des fuites du liquide isolant. Dans ce cas, on peut également tenir compte des dangers engendrés par les fuites.

6.2.3 Croissance potentielle du feu

Les paramètres importants relatifs à la croissance potentielle du feu sont le pouvoir calorifique inférieur, le débit calorifique et la chaleur de gazéification.

6.2.4 Effluents du feu

Les effets dangereux importants des effluents du feu sont l'opacité de la fumée, le dommage de corrosion et le danger toxique.

7 Scénarios d'incendie

7.1 Généralités

Les scénarios d'incendie pour les équipements électrotechniques contenant des liquides isolants sont décrits ci-dessous. Ces scénarios d'incendie sont particulièrement adaptés aux transformateurs, qui constituent la principale application finale des liquides isolants, et dans certains cas à d'autres types d'équipements électrotechniques.

Le danger d'incendie doit être pris en compte en se référant à la CEI 60695-1-10 et à la CEI 60695-1-11.

Pour les équipements électrotechniques contenant des liquides isolants, les deux types de scénarios qu'il convient d'étudier sont:

- a) le scénario d'incendie origine lorsque les équipements électrotechniques constituent la source d'allumage, et
- b) le scénario d'incendie victime lorsque les équipements électrotechniques sont les victimes d'un feu d'origine extérieure.

Dans le scénario d'incendie origine, le feu est déclenché par une défaillance à l'intérieur de l'équipement électrotechnique. Dans le scénario d'incendie victime, le liquide isolant participe à la charge calorifique pour un feu d'origine extérieure.

7.2 Scénarios d'incendie origine

7.2.1 Généralités

Il convient de tenir compte des éléments suivants:

- a) le liquide isolant peut-il être chauffé jusqu'à son point de feu dans des conditions de surcharge de l'équipement. Cela pourrait donner lieu à un démarrage de feu en cas d'exposition à une source externe d'allumage;
- b) le feu peut-il être déclenché par un arc interne non contrôlé à haute énergie.

Ces situations peuvent créer une pression interne suffisante pour faire éclater le conteneur de liquide isolant à l'intérieur de l'équipement électrotechnique. Le liquide est ensuite éjecté, normalement sous forme de projection, qui peut être allumée par l'arc. La projection brûle de manière intense pendant une courte période mais forme ensuite une flaque qui peut brûler ou ne pas brûler à la base de l'équipement électrotechnique. L'expérience avec les liquides isolants de Classe O1 a montré que la combustion d'un feu résultant d'une flaque de liquide cause plus de dommages mais aucun feu ayant une telle origine n'a été mentionné pour les liquides de la Classe K.

Les essais sur des liquides isolants de la Classe K (connus comme des liquides isolants moins inflammables) ont montré que, même si la projection prend feu de cette façon, la flaque de liquide qui en résulte cesse rapidement de brûler. Cela est dû en grande partie à son point de feu élevé. Cependant, les huiles minérales (Classe O1) sont bien plus susceptibles de continuer à brûler lorsqu'elles forment une flaque qui s'enflamme. C'est la raison pour laquelle une part importante des informations concernant les dommages du feu s'applique aux liquides de la Classe O1.

Les mélanges de PCB (voir 3.30 et Annexe A) présentent un comportement similaire aux liquides isolants de la Classe K. La projection et les gaz dissous peuvent prendre feu, alors même que les mélanges de PCB ont été rangés dans la Classe L. La flaque qu'ils peuvent former ne continue pas à brûler.

Pour beaucoup d'équipements électrotechniques, les liquides isolants de la Classe O1 sont presque toujours utilisés pour des raisons techniques et/ou économiques. Il convient alors

que la protection contre le feu soit assurée par une conception appropriée et un emplacement sûr de l'équipement électrotechnique, y compris des dispositifs de contrôle physique et électrique (voir Annexe B).

Les liquides isolants de la Classe K exigent des mesures de protection moins sévères que ceux de la Classe O (voir Annexes A et C).

L'utilisation principale des liquides isolants concerne les transformateurs. Les listes suivantes de scénarios d'incendie majeurs et mineurs s'appliquent aux transformateurs et parfois à d'autres types d'équipement électrotechnique contenant des liquides isolants.

Il convient de prendre des dispositions pour la protection des personnes contre les effluents du feu ou les autres effluents provenant d'équipements contenant des mélanges de PCB ou de l'huile minérale contaminée par des PCB. Il convient que de tels équipements soient identifiés et traités conformément aux règlements locaux pouvant aller jusqu'à la mise hors service. Cela est important parce que les PCB présentent un danger toxique s'ils sont décomposés par la chaleur avec ou sans combustion du liquide porteur [4].

Bien que les défaillances donnant lieu à un feu dans les équipements électrotechniques contenant des liquides isolants soient rares, il est évident que tout équipement transportant un courant électrique élevé et contenant de grandes quantités de matériaux isolants inflammables solides et/ou liquides présente en théorie un danger d'incendie. Avec de bonnes mesures de protection, les dommages causés sont généralement faibles et limités à l'intérieur du conteneur avec éventuellement l'éjection d'une petite quantité de liquide isolant.

7.2.2 Causes majeures d'incendie

Les causes majeures d'incendie pour les scénarios d'incendie origine sont les suivantes:

- a) Dommages affectant le conteneur et donnant lieu à une fuite du liquide isolant, éventuellement sous la forme d'une projection de liquide.
- b) Augmentation de la pression interne du conteneur due à l'expansion thermique en présence d'une surcharge ou aux gaz de décomposition du liquide isolant. Ceci peut donner lieu à l'écoulement de fluide et de vapeurs de la soupape de surpression.
- c) Fuite non détectée conduisant à un manque de circulation, donnant lieu à une surchauffe et à une modification des caractéristiques du liquide, avec un éventuel claquage dû à un arc créé par les conducteurs exposés.
- d) Arc(s) à énergie élevée entre terminaisons d'entrée HT (à haute tension) causé(s) par des transitoires à haute tension, la foudre ou une surcharge de commutation.
- e) Des défauts de faible amplitude au centre d'enroulements HT, causant un claquage et la décomposition du liquide isolant en composants gazeux inflammables.
- f) Défaillance de protection pour absorber un défaut, donnant lieu à une surchauffe importante et une défaillance d'enroulement.
- g) Défauts de changeur de prise – la défaillance peut s'étendre au transformateur.
- h) Défauts de traversées dans une connexion en surchauffe provoquant la fissuration de l'isolateur. Faible écoulement du liquide isolant sur la connexion en surchauffe qui peut se transformer en feu s'il n'est pas détecté.
- i) Défauts de boîtes de jonction – les boîtes de jonction peuvent être remplies soit de mélanges soit d'huile. La défaillance de l'isolation peut causer un arc phase/phase et la pression élevée qui en résulte peut conduire à l'éclatement de la boîte de jonction.
- j) Défauts de câbles à huile fluide.

7.2.3 Causes mineures d'incendie

Les causes mineures d'incendie pour les scénarios d'incendie origine sont les suivantes:

- a) connexion surchauffée donnant lieu à la fissuration de l'isolateur.
- b) écoulement lent de liquide isolant sur une connexion surchauffée. En fonction des caractéristiques de combustion du liquide, cela peut causer un feu s'il n'est pas détecté.

7.2.4 Feux de flaque

L'expérience avec les transformateurs remplis d'huile minérale a montré que si le réservoir du transformateur se rompt à cause d'une défaillance majeure causée par un arc interne à énergie élevée, le liquide isolant peut être éjecté sous forme de projection. Cette projection brûle de manière intense pendant une courte durée et peut elle-même causer des dommages, mais, dans la plupart des accidents répertoriés, une part considérable des dommages totaux dus au feu a été causée par le débit calorifique élevé produit par la flaque d'huile en se consumant. Pour cette raison, il faut accorder une attention particulière à la possibilité de feu de flaque de liquide.

7.2.5 Projection se consumant

Comme indiqué précédemment, une projection peut brûler de manière intense pendant seulement une courte période. La pression est limitée par comparaison avec par exemple les applications hydrauliques, car, dans la plupart des équipements électrotechniques, le conteneur n'a qu'une capacité limitée de résistance à la pression.

7.2.6 Allumage sur une surface chaude

Un défaut dans une connexion traversée par un courant élevé, extérieur à l'équipement électrotechnique, peut donner lieu à une température locale élevée, éventuellement supérieure à 500 °C. Si du liquide isolant fuit de l'équipement électrotechnique et passe sur une telle surface surchauffée, il peut prendre feu. Cela dépend de la température de la surface, de la température d'allumage du liquide et de la vitesse d'écoulement.

7.3 Scénarios d'incendie victime

L'équipement électrotechnique considéré peut être concerné par un feu qui a commencé à l'extérieur. Ceci peut comprendre le cas de l'écroulement d'un bâtiment causant des dommages au conteneur et un écoulement de liquide isolant formant une flaque qui peut prendre feu.

Un autre type de scénario d'incendie victime est le cas d'un feu interactif qui débute dans un équipement électrotechnique associé adjacent, comme des câbles de connexion, des condensateurs ou des appareillages de connexion. Par exemple, des dommages de feu sur les câbles de connexion peuvent donner lieu à un court-circuit.

Il convient de tenir compte de la probabilité d'exposition d'un liquide isolant à un feu extérieur, que le liquide soit intégralement contenu à l'intérieur de l'équipement électrotechnique ou qu'il s'en échappe après des dommages physiques affectant l'équipement. Les paramètres importants sont l'allumabilité du liquide isolant et, en cas d'allumage, la contribution au danger d'incendie du débit calorifique et des effluents du feu. Dans un scénario d'incendie victime, il faut chauffer les liquides isolants de la Classe K (moins inflammables) à une température supérieure à celle des liquides isolants de la Classe O avant qu'ils ne prennent feu au contact d'une flamme extérieure et ne continuent à brûler.

8 Mesures de protection contre le feu

Elles peuvent être définies comme suit:

- a) rétention du liquide isolant à l'intérieur de l'équipement électrotechnique, en permettant l'expansion thermique en service;

- b) disposition pour retenir tout liquide s'étant échappé, au moyen d'un bassin de réception ou d'un muret de rétention (cuvette de rétention);
- c) distance suffisante avec le bâtiment le plus proche (pour les installations extérieures);
- d) utilisation de dispositifs coupe-feu ou de compartiments feu;
- e) extincteur(s) déclenché(s) par augmentation excessive de la température;
- f) disjoncteur(s) déclenché(s) par soupape de surpression;
- g) protection à maximum de courant; et
- h) protection rapide contre les courts-circuits.

L'Annexe B les décrit avec plus de détails. Certaines sont spécifiées par des organismes en charge des réglementations ou des organismes de conseil compétents pour des zones géographiques particulières, par exemple USA, Europe et Japon.

Pour les équipements électrotechniques installés dans des zones de danger d'incendie particulier (par exemple dans les bâtiments), des mesures moins sévères sont nécessaires dans le cas de liquides moins inflammables.

Les équipements électrotechniques qui contiennent des quantités de liquide isolant inférieures à un minimum spécifié (généralement environ 4 l) sont exemptés de nombreuses restrictions dans de tels règlements, même lorsque le liquide appartient à la Classe O. Dans un scénario d'incendie victime, la faible quantité de liquide isolant n'apporte qu'une faible contribution à la charge calorifique.

Cependant, les équipements électrotechniques contenant un liquide isolant de la Classe O peuvent encore être une cause de feu si le réservoir se rompt à la suite d'un arc interne à énergie élevée et que du liquide enflammé est éjecté. Cela peut en particulier s'appliquer aux condensateurs, aux petits transformateurs et aux appareillages de connexion. Il convient de noter que, contrairement aux transformateurs qui sont normalement équipés de dispositifs de surpression incorporés pour éviter toute rupture du réservoir, les équipements électrotechniques qui ne possèdent pas de tels dispositifs connaissent une telle rupture si un arc interne n'est pas éteint par un fusible ou d'autres mesures de protection.

Des informations complémentaires sont données aux Annexes B et C.

9 Considérations pour la sélection des méthodes d'essai

9.1 Généralités

Il convient que les méthodes d'essai et les limites choisies correspondent au scénario d'incendie (voir CEI 60695-1-10).

Les méthodes d'essai peuvent être utilisées pour la sélection du liquide isolant le plus approprié et également pour les essais de type, les essais par échantillonnage ou les essais individuels de série. Les essais par échantillonnage et les essais individuels de série sont généralement utilisés pour le contrôle de la qualité.

La source d'allumage utilisée pour la méthode d'essai est tenue d'être appropriée aux scénarios d'incendie réels. S'agissant des scénarios d'incendie origine, il convient que la source d'allumage simule les sources internes localisées de chaleur excessive, et l'allumage à l'intérieur des équipements électrotechniques. S'agissant des scénarios d'incendie victime, il convient que la source d'allumage simule la source externe prévue de flammes ou de chaleur excessive.

9.2 Essais de type

Il convient de mesurer l'allumabilité (facilité d'allumage) en termes de point de feu (voir ISO 2592).

La chaleur de combustion peut être mesurée en utilisant l'ISO 1716. La méthode d'essai mesure le pouvoir calorifique supérieur, mais le pouvoir calorifique inférieur ne peut être calculé que si l'on connaît la teneur en hydrogène du liquide isolant (voir CEI 60695-8-2).

Le débit calorifique peut être mesuré au moyen d'un calorimètre conique conformément à la CEI/TS 60695-8-3.

Les caractéristiques de dommage de corrosion, d'opacité de la fumée et de danger toxique des effluents du feu peuvent être mesurées selon différentes méthodes. La CEI/TS 60695-5-2 fournit un résumé et spécifie la pertinence des méthodes d'essai pour le dommage de corrosion. La CEI 60695-6-2 fournit un résumé et spécifie la pertinence des méthodes d'essai pour l'opacité de la fumée. La CEI 60695-7-2 fournit un résumé et spécifie la pertinence des méthodes d'essai pour le danger toxique.

9.3 Essais par échantillonnage

Le point de feu est l'essai le mieux approprié pour le contrôle de la qualité. Le point d'éclair en vase ouvert peut être mesuré en même temps (voir ISO 2592). La CEI 60944 et la CEI 61203 ont été rédigées pour la maintenance et les essais des échantillons de liquide isolant prélevés après un certain temps en service.

Le dispositif pour prélever les échantillons et mesurer leur qualité, y compris le point d'éclair et le point de feu, après un certain temps en service, est un avantage particulier que présentent les liquides isolants dans beaucoup d'équipements électrotechniques. Cela n'est pas possible avec l'isolation solide.

9.4 Essais de résistance à l'arc

Pour les transformateurs, des méthodes ont été développées pour évaluer la résistance à l'arc continu de faible énergie ainsi que la capacité à résister à un arc d'énergie élevée spécifiée sans rupture du réservoir du transformateur. Ces méthodes d'essai sont utilisées par un organisme de certification américain [4], mais n'ont pas fait l'objet de normes nationales ou internationales.

9.5 Pertinence des résultats d'essai des scénarios d'incendie

Le danger que présente le feu pour la vie et les biens est dû au dégagement de chaleur et au rejet d'effluents du feu.

En mesurant le point de feu et le débit calorifique des liquides isolants ainsi que les effets du dommage de corrosion, de l'opacité de la fumée et du danger toxique des effluents du feu dus aux liquides isolants enflammés, on peut évaluer les dangers associés aux liquides isolants utilisés dans les équipements électrotechniques, sur la base des principes suivants:

- plus le point de feu est élevé, plus l'allumage est difficile, et
- plus les débits calorifiques et les effluents du feu sont faibles, en cas d'allumage, plus le danger attendu et la difficulté de lutte contre le feu sont faibles.

Le comportement au feu d'un liquide isolant dépend de ses propriétés ainsi que de la taille et de la forme de son conteneur, de la présence d'autres matériaux combustibles et des sources de chaleur.

Annexe A (informative)

Historique des liquides isolants

L'huile minérale, qui est le liquide isolant le plus largement utilisé, est en usage depuis plus de 100 ans. Sa première application dans l'industrie électrique remonte aux années 1890, période pendant laquelle les transformateurs et les câbles à haute tension ont été développés. Il était nécessaire d'imprégner le papier poreux et d'autres matériaux isolants solides en usage pour augmenter les tensions de fonctionnement en éliminant l'air et l'humidité tout en assurant un refroidissement par convection si nécessaire.

A l'heure actuelle, les huiles minérales isolantes utilisées pour l'isolation électrique sont des produits ayant subi un raffinage poussé qui contiennent des stabilisateurs et qui sont couverts par la CEI 60296 pour les transformateurs et les appareillages de connexion et par la CEI 60465 pour les câbles à circulation d'huile. Les huiles végétales (en particulier l'huile de ricin) ont également été utilisées et sont toujours en usage à l'heure actuelle dans certains types de condensateurs.

Les mélanges de PCB ont été introduits vers 1930 pour remplacer l'huile minérale dans les transformateurs installés dans des bâtiments ou dans d'autres emplacements présentant un danger d'incendie. Les mélanges de PCB des transformateurs n'ont pas de point de feu mesurable et étaient considérés pour cette raison comme ininflammables. Cependant, on a découvert par la suite que les projections de ces liquides et leurs gaz de décomposition pouvaient prendre feu et brûler brièvement en cas de rupture d'un transformateur à la suite d'une défaillance due à un arc interne incontrôlé d'énergie élevée. Élément plus gênant, les produits de combustion des mélanges de PCB sont toxiques et ne se décomposent pas dans l'environnement, tout comme les PCB non décomposés, ce qui présente un danger pour l'environnement. La poursuite de l'utilisation et de la fabrication des PCB a été interdite au niveau mondial.

Pour remplacer les PCB des transformateurs, des liquides isolants (contenant des silicones, des esters et des hydrocarbures de masse moléculaire élevée) avec un point de feu supérieur à 300 °C ont commencé à être utilisés dans les années soixante-dix. On a montré que leur comportement en cas de défaillance d'un transformateur due à un arc d'énergie élevée était similaire à celui des mélanges de PCB. Bien que le produit éjecté puisse être décomposé et allumé par l'arc, la combustion était seulement de courte durée.

Plus de 150 000 transformateurs contenant des liquides isolants de la Classe K (moins inflammables) sont en service, avec d'excellents résultats de sécurité au feu. A la différence des mélanges de PCB, ces liquides isolants de la Classe K ne présentent pas un danger similaire pour l'environnement.

Jusqu'en 1970, les mélanges de PCB ont également été utilisés dans les condensateurs. Après leur retrait, des modifications dans la conception des condensateurs ont conduit à l'introduction d'autres liquides de synthèse, en particulier d'hydrocarbures aromatiques à faible viscosité. Ils sont généralement conformes à la CEI 60867 [6]. A la différence des mélanges de PCB, le point de feu de ces liquides aromatiques de synthèse à faible viscosité est d'environ 165 °C.

Les liquides isolants pour les câbles étaient à l'origine à base d'huiles minérales produites par raffinage de pétrole brut, mais depuis les années soixante on utilise également les liquides d'hydrocarbures aromatiques de synthèse. La CEI 61100 [7] a été publiée en 1992, qui classe les liquides isolants selon leur point de feu et leur pouvoir calorifique inférieur. Cette norme a depuis été remplacée par la CEI 61039.

Plus de 90 % des liquides isolants utilisés actuellement entrent dans la catégorie la plus inflammable de la CEI 61039, la Classe O1. Les statistiques de sécurité au feu des équipements électrotechniques contenant tous les types de liquides isolants sont généralement bonnes. Il y a eu quelques incidents de feu sérieux mettant en cause des liquides de la Classe O1, mais il est important de noter que globalement des millions de transformateurs contenant de l'huile minérale dans cette classe sont en service et que de tels incidents sont rares. Les liquides isolants de la Classe L3 ont également été mis en cause dans des incidents de feu de grande ampleur à cause de la pollution de l'environnement qui en a résulté et des coûts de nettoyage.

C'est pour ces raisons que l'analyse des dangers d'incendie et les mesures de protection appropriées sont de la plus grande importance.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-40:2013

Annexe B (informative)

Mesures de prévention et de protection contre le feu

B.1 Généralités

Certaines des mesures indiquées ci-dessous concernent spécifiquement les transformateurs, d'autres les dispositifs remplis de liquide en général. L'application de ces mesures dépend également du type particulier et du système d'isolation de l'équipement électrotechnique, de l'évaluation du danger d'incendie de son emplacement et des règlements de sécurité au feu nationaux et/ou locaux applicables.

B.2 Mesures de protection physique

- a) Utilisation de dispositifs de surpression.

NOTE Les dispositifs de surpression n'offrent qu'une protection limitée dans le cas des défauts à énergie élevée bien qu'ils puissent empêcher les ondes de choc en cas d'explosion, mais ils offrent une bonne protection dans le cas de défauts de faible énergie dans un scénario d'incendie victime.

- b) Conformité aux exigences appropriées de résistance à l'éclatement pour conteneur.
- c) Utilisation de dispositifs coupe-feu.
- d) Zone de confinement des liquides autour et sous les transformateurs.
- e) Installation en voûte.
- f) Extincteurs automatiques.
- g) Utilisation de conteneurs ondulés pour expansion due à l'augmentation de la température ou à la production de gaz.
- h) Couverture d'azote (ou avec un autre gaz inerte).

B.3 Mesures de protection chimique

- a) Utilisation de liquides non inflammables ou de liquides isolants à point de feu élevé.
- b) Conformité aux exigences appropriées de tension de claquage minimale pour le liquide isolant.

B.4 Mesures de protection électrique

- a) Coupe-circuit, internes ou externes.
- b) Coupe-circuit limiteurs de courant, internes ou externes.
- c) Autres dispositifs à maximum de courant, internes ou externes.

B.5 Capteurs

- a) Alarme et circuit de déclenchement de température de bobine ou de liquide isolant.
- b) Alarme et circuit de déclenchement de surpression.
- c) Relais de détection de gaz (Buchholz).

B.6 Maintenance et examen

- a) Examen visuel de l'équipement.
- b) Essais électriques de l'équipement et du liquide isolant.