

SPÉCIFICATION
TECHNIQUE
TECHNICAL
SPECIFICATION

CEI
IEC

60695-1-40

Première édition
First edition
2002-11

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION

Essais relatifs aux risques du feu –

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

Fire hazard testing –

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60695-1-40:2002

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**CEI
IEC**

TECHNICAL SPECIFICATION

60695-1-40

Première édition
First edition
2002-11

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION

Essais relatifs aux risques du feu –

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

Fire hazard testing –

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

© IEC 2002 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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 photo-copie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
1 Domaine d'application.....	10
2 Références normatives	10
3 Définitions	12
4 Classification des liquides isolants.....	12
5 Types d'équipements électrotechniques contenant des liquides isolants.....	12
6 Paramètres de feu	14
7 Scénarios feu.....	14
8 Mesures de protection contre le feu.....	20
9 Considérations pour la sélection des méthodes d'essai	22
Annexe A (informative) Historique des liquides isolants.....	26
Annexe B (informative) Mesures de prévention et de protection contre le feu.....	30
Annexe C (informative) Transformateurs.....	34
Annexe D (informative) Condensateurs de puissance.....	38
Annexe E (informative) Câbles.....	40
Annexe F (informative) Traversées.....	44
Annexe G (informative) Appareillage de connexion	46
Bibliographie	48
Tableau 1 – Classification des liquides isolants.....	12

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60695-1-40:2002

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
1 Scope	11
2 Normative references.....	11
3 Definitions	13
4 Classification of insulating liquids	13
5 Types of electrotechnical equipment containing insulating liquids	13
6 Fire parameters	15
7 Fire scenarios	15
8 Protective measures against fire	21
9 Considerations for the selection of test methods	23
Annex A (informative) History of insulating liquids	27
Annex B (informative) Preventive and protective measures against fire.....	31
Annex C (informative) Transformers	35
Annex D (informative) Power capacitors.....	39
Annex E (informative) Cables	41
Annex F (informative) Bushings.....	45
Annex G (informative) Switchgear	47
Bibliography	49
Table 1 – Classification of insulating liquids	13

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 CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente spécification technique peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou quand, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat.

Les spécifications techniques font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

La CEI 60695-1-40, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –

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

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical specification may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

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

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

IEC 60695-1-40, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
89/511/DTS	89/543/RVC

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

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

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

Elle a le statut de norme fondamentale de sécurité, conformément au Guide CEI 104.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60695-1-40:2002

Without watermark

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

Enquiry draft	Report on voting
89/511/DTS	89/543/RVC

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

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

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

It has the status of a basic safety standard in accordance with IEC Guide 104.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60695-1-40:2002

Withdrawn

INTRODUCTION

Il faut étudier le risque de feu pour toutes les catégories de produits électrotechniques. 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 60 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 risque de feu 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 doit être d'empêcher un allumage, mais si l'allumage intervient, de circonscrire l'incendie de préférence dans les limites de l'enceinte du produit électrotechnique.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60695-1-40:2002

INTRODUCTION

The risk of fire must be considered for all forms of electrotechnical products. 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 60 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 shall be 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 TS 60695-1-40:2002

Withdwn

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

Cette spécification technique fournit des lignes directrices pour la minimisation du risque de feu 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.

Comme les liquides isolants font toujours partie d'un système d'isolation, il faut également évaluer le risque de feu du système complet.

Cette publication fondamentale de sécurité est principalement destinée à être utilisée par les comités d'études pour l'établissement de leurs normes conformément aux principes exposés dans le Guide 104 de la CEI et dans le Guide ISO/CEI 51. 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 de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60695-1-1:1999, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-1: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Directives générales*

CEI 60695-8-1:2001, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 8-1: Dégagement de chaleur – Guide général*

CEI 61100:1992, *Classification des isolants liquides selon le point de feu et le pouvoir calorifique inférieur*

Guide CEI 104:1997, *Elaboration des publications de sécurité et utilisation des publications fondamentales de sécurité et des publications groupées de sécurité*

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

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

ISO 2592:2000, *Détermination des points d'éclair et de feu – Méthode Cleveland à vase ouvert*

FIRE HAZARD TESTING –

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

1 Scope

This technical specification provides guidance on the minimization of fire hazard arising from the use of electrical insulating liquids to

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

As insulating liquids are always part of an insulating system, the fire hazard of the complete system must also be assessed.

This basic safety publication is primarily intended for use by technical committees in the preparation of standards in accordance with the principles laid down in IEC Guide 104 and ISO/IEC Guide 51. 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 referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60695-1-1:1999, *Fire hazard testing – Part 1-1: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines*

IEC 60695-8-1:2001, *Fire hazard testing – Part 8-1: Heat release – General guidance*

IEC 61100:1992, *Classification of insulating liquids according to fire-point and net calorific value*

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

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

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

ISO 2592:2000, *Determination of flash and fire points – Cleveland open cup method*

3 Définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO/CEI 13943 s'appliquent.

4 Classification des liquides isolants

Les liquides isolants ont été classés dans la CEI 61100 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.			

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
- 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 spécification technique ne traite pas des avantages et des inconvénients relatifs de ces solutions alternatives.

3 Definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO/IEC 13943 apply.

4 Classification of insulating liquids

Insulating liquids have been classified in IEC 61100 according to fire point and net calorific value (net heat of combustion) as shown in Table 1.

Table 1 – Classification of insulating liquids

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

5 Types of electrotechnical equipment containing insulating liquids

Insulating liquids are used in some designs of

- transformers and reactors
- capacitors
- cables
- bushings
- switchgear
- miscellaneous power electronics (and 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 technical specification does not discuss the relative advantages and disadvantages of these alternatives.

6 Paramètres de feu

Les principaux paramètres qui concernent l'allumage et la combustion des liquides isolants sont décrits ci-dessous.

6.1 Allumabilité

Ce paramètre est mesuré avec le point de feu comme décrit dans l'ISO 2592.

6.2 Caractéristiques de combustion

Il convient de les prendre en compte en termes de contribution à la charge calorifique et au risque de feu causés par les effluents de combustion. Il convient aussi de tenir compte du risque causé par les effluents de non-combustion qui peuvent être dégagés dans un scénario feu même si le liquide isolant ne brûle pas.

6.2.1 Contribution au développement du feu et à la charge calorifique totale

Les paramètres importants sont la chaleur de combustion (pouvoir calorifique inférieur), le débit calorifique et la chaleur de gazéification.

6.2.2 Effluents de combustion et de non-combustion

Les paramètres importants sont l'opacité, la corrosivité et la toxicité.

7 Scénarios feu

Les scénarios feu pour les équipements électrotechniques contenant des liquides isolants sont décrits ci-dessous. Ces scénarios feu 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.

Il convient d'évaluer le risque de feu en se référant à la CEI 60695-1-1.

Pour les équipements électrotechniques contenant des liquides isolants, les deux types de scénarios qu'il convient d'étudier sont ceux de l'origine et de la victime.

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

7.1 Scénario origine

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.

Cela peut créer une pression interne suffisante pour faire éclater le conteneur de liquide isolant à l'intérieur du produit 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 mare 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.

6 Fire parameters

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

6.1 Ignitability

This is measured by fire point as described in ISO 2592.

6.2 Combustion characteristics

These should be considered in terms of contribution to the fire load and fire hazard caused by combustion effluents. The hazard caused by non-combustion effluents, which may be evolved in a fire scenario even if the insulating liquid does not burn, should also be considered.

6.2.1 Contribution to fire growth and total fire load

Important parameters are heat of combustion (net calorific value), heat release rate and heat of gasification.

6.2.2 Combustion and non-combustion effluents

Important parameters are opacity, corrosivity and toxicity.

7 Fire scenarios

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 should be assessed with reference to IEC 60695-1-1.

For electrotechnical equipment containing insulating liquids, the two types of scenario that should be considered are origin and victim.

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

7.1 Origin scenario

Consideration should 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.

This 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 by the arc. 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.

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 mare 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 mare 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 askarels (voir Annexe A) présentent un comportement similaire aux liquides isolants de la Classe K. La projection et les gaz dissous pourraient prendre feu, alors même que les askarels ont été rangés dans la Classe L. La mare qu'ils peuvent former ne continuerait 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. La liste suivante de scénarios feu majeurs et mineurs s'applique 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 effluents de non-combustion provenant d'équipements contenant des askarels ou de l'huile minérale contaminés par des PCB (polychlorobiphényles). 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 askarels présentent un risque toxique s'ils sont décomposés par la chaleur avec ou sans combustion du liquide porteur.

7.1.1 Principales origines des feux

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

Tests on Class K insulating liquids (known as less-flammable insulating liquids) have shown that even if spray ignites in this way, 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.

Askarels (see Annex A) exhibit similar behaviour to Class K insulating liquids. The spray and dissolved gases could ignite, even though askarels are rated as Class L. The resulting pool formed would 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 should 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 list of major and minor fire scenarios applies to transformers and in some cases to other types of electrotechnical equipment containing insulating liquids.

Provisions should be made for protection of people against fire effluent or non-combustion effluent from equipment containing askarels or mineral oil contaminated by PCBs (polychlorinated biphenyls). Such equipment should be identified and dealt with in accordance with local regulations which may result in decommissioning. This is important because askarels present a toxic hazard if decomposed thermally with or without combustion of the carrier liquid.

7.1.1 Major origins of fire

- a) Container damage leading to major leakage of liquid.
- b) Undetected leakage leading to lack of circulation, resulting in overheating and change in liquid characteristics, eventually leading to breakdown due to arc from exposed conductors.
- c) High energy arc between incoming HV (high voltage) terminations caused by high voltage transients, lightning or switching surge.
- d) Low magnitude faults in centre of HV winding, causing breakdown and decomposition of liquid into flammable gaseous components.
- e) Failure of protection to clear a fault, resulting in severe overheating and winding failure.
- f) Tapchanger faults – failure may spread to transformer.
- g) Bushing faults in overheated connection resulting in a cracked insulator. Slow release of liquid on to overheated connection which may develop into a major fire if not detected.
- h) Cable box faults – cable boxes may be either compound 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.
- i) Oil-filled cable faults.

7.1.2 Scénarios de feu majeurs

- a) Augmentation de la pression interne du conteneur due à l'expansion thermique en présence d'une surcharge ou aux gaz de décomposition.
- b) Écoulement de fluide et de vapeurs de la soupape de surpression.
- c) Rupture mineure du conteneur, donnant lieu à une projection de liquide.
- d) Dommages de feu sur les câbles de connexion, donnant lieu à un court-circuit.

7.1.3 Scénarios de feu mineurs

- a) Connexion surchauffée donnant lieu à la fissuration de l'isolateur, et
- 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.

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 risque de feu.

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.

7.1.4 Modes d'allumage et combustion

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 de forte ampleur, 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 mare d'huile en se consumant.

Pour cette raison, il faut accorder une attention particulière à la possibilité de feu de mare de liquide.

7.1.5 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.

7.1.6 Allumage sur une surface chaude

Un défaut dans une connexion traversée par un courant élevé, extérieur à l'équipement électrotechnique, pourrait 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 dépendra de la température de la surface, de la température d'allumage du liquide et de la vitesse d'écoulement.

7.2 Scénario victime

L'équipement électrotechnique considéré peut être concerné par un feu qui a commencé à l'extérieur. On pourrait faire entrer dans ce cadre l'écroulement d'un bâtiment causant des dommages au conteneur et un écoulement de liquide formant une mare qui peut prendre feu.

7.1.2 Major fire scenarios

- a) Increase in internal container pressure due to thermal expansion under overload or gases from decomposition.
- b) Release of fluid and vapours from pressure relief valve.
- c) Minor container rupture, resulting in liquid spray.
- d) Fire damage to connecting cables, resulting in a short circuit.

7.1.3 Minor fire scenarios

- a) Overheated connection resulting in cracked insulator, and
- b) 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.

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 theoretical 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 liquid.

7.1.4 Modes of ignition and combustion

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 has been caused by the high heat release rate from the burning pool of oil.

For this reason, the possibility of a pool fire must be a matter for particular consideration.

7.1.5 Burning spray

As previously stated, 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.

7.1.6 Ignition on hot surface

A fault in a high current connection, external to the electrotechnical equipment, could 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.

7.2 Victim scenario

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 liquid into a pool which can ignite.

Un autre type de scénario 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.

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 or 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 risque de feu du débit calorifique et des effluents du feu de combustion et de non-combustion. Dans un scénario 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. Il convient aussi de noter la référence aux liquides isolants moins inflammables dans le scénario d'origine.

8 Mesures de protection contre le feu

Elles peuvent être définies comme suit:

- a) rétention du liquide 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 mur de protection (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) extincteurs déclenchés par augmentation excessive de la température;
- f) disjoncteur déclenché 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 risque de feu 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 feu victime, la faible quantité de liquide isolant n'apportera qu'une faible contribution à la charge calorifique totale.

Cependant, les équipements électrotechniques contenant un liquide isolant de la Classe O pourraient encore être une cause de feu si le réservoir se rompt à la suite d'un arc interne puissant et que du liquide enflammé soit éjecté. Cela pourrait 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 connaîtront 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.

Another type of victim scenario is an interactive fire which begins in adjacent associated electrotechnical equipment, such as connecting cables, capacitors or switchgear.

Consideration should 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 if 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 both combustion and non-combustion fire effluents. In a victim scenario, Class K (less-flammable) insulating liquids must 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. The reference to less-flammable insulating liquids in the origin scenario should also be noted.

8 Protective measures against fire

These can be defined as follows:

- a) retaining the liquid within the electrotechnical equipment, allowing for thermal expansion in service;
- b) provision to retain any liquid released, by means of a sump or protective wall (bund);
- c) sufficient distance to nearest building (for outdoor installations),
- d) use of fire barriers or fire compartments;
- e) fire extinguisher actuated by excess temperature rise;
- f) circuit breaker actuated by pressure relief valve;
- g) over-current protection; and
- h) fast 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 l) 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 total 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 measures.

Further information is given in Annexes B and C.

9 Considérations pour la sélection des méthodes d'essai

9.1

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

Il convient de sélectionner des méthodes d'essai pour les essais de type pour choisir le liquide isolant le mieux approprié pour une application particulière ou pour les essais de lots sur des lots individuels de liquide isolant neuf ou usagé.

9.2 Essais de type

9.2.1 Caractéristiques de combustion

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

Il convient que la combustion en tant qu'apport à la charge calorifique soit mesurée en termes de chaleur de combustion (pouvoir calorifique inférieur) et de débit calorifique (voir CEI 60695-8-1).

Il convient de mesurer les caractéristiques de corrosivité, d'opacité et de toxicité des effluents du feu et des effluents de non-combustion comme décrit dans la CEI 60695-5-1, la CEI 60695-6-1 et la CEI 60695-7-1 respectivement.

9.2.2 Essais de lots

Le point de feu (voir ISO 2592) est l'essai le mieux approprié pour le contrôle de qualité. Le point d'éclair en vase ouvert (voir ISO 2592) peut être mesuré en même temps. La CEI 60944 [1]¹ et la CEI 61203 [2] ont été rédigés pour la maintenance et les essais des échantillons de liquide isolant 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.

9.2.3 Essais de résistance à l'arc

Pour les transformateurs, des méthodes ont également 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 [3], mais n'ont pas fait l'objet de normes nationales ou internationales.

9.2.4 Sources d'allumage

La source d'allumage utilisée en laboratoire doit être adaptée aux scénarios feu réels

- a) provenant de sources internes localisées de chaleur excessive, et de l'allumage à l'intérieur des équipements électrotechniques; et,
- b) sur des équipements et des systèmes électrotechniques exposés à des sources externes de flammes ou de chaleur excessive.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

9 Considerations for the selection of test methods

9.1

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

Test methods should be selected for type testing to choose the most appropriate insulating liquid for a particular application or for lot testing on individual batches of new or used insulating liquid.

9.2 Type testing

9.2.1 Combustion characteristics

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

Combustion as fuel to the fire load should be measured in terms of heat of combustion (net calorific value) and heat release rate (see IEC 60695-8-1).

The corrosivity, opacity and toxicity characteristics of fire effluents and non-combustion effluents should be measured as described in IEC 60695-5-1, IEC 60695-6-1 and IEC 60695-7-1 respectively.

9.2.2 Lot testing

Fire point (see ISO 2592) is the most appropriate test for quality control. Open cup flash point (see ISO 2592) can be measured at the same time. IEC 60944 [1]¹ and IEC 61203 [2] 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 insulating liquids in many forms of electro-technical equipment. This is not possible with solid insulation.

9.2.3 Arc resistance testing

For transformers, methods have also been developed to assess the resistance to continued low-energy arcing, and also the ability to withstand specified high energy arcing without rupture of the transformer tank. These test methods are used by a US approval body [3], but have not been developed into national or international standards.

9.2.4 Ignition sources

The ignition source used in the laboratory has to be relevant to the actual fire scenarios

- a) from localized, internal sources of excessive heat, and ignition within electrotechnical equipment; and,
- b) from electrotechnical equipment and systems when exposed to external sources of flame or excessive heat.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

9.2.5 Appareillage d'essai

Il convient que l'appareillage d'essai ait la capacité de mesurer le débit calorifique des liquides.

Il convient que l'appareillage d'essai possède des dispositifs pour diriger le flux de chaleur des sources de chaleur extérieures ou des flammes de manière approximativement uniforme vers les éprouvettes dans la zone d'allumage.

Il convient que l'appareillage d'essai avec flux de chaleur dirigé possède un dispositif d'allumage pour le mélange air/vapeur du matériau. Un dispositif d'allumage à étincelle électrique ou une flamme air/gaz à pré-mélange sont considérés comme satisfaisants. Il convient que les appareillages d'essai utilisant des flammes soient équipés pour appliquer la flamme de manière uniforme.

Il convient qu'il y ait des systèmes d'évacuation pour capter tous les mélanges air/effluent du feu et des appareils de mesure de sensibilité suffisante pour les mesures suivantes:

- a) concentrations en oxygène (méthode de consommation d'oxygène);
- b) dioxyde et monoxyde de carbone (méthode de génération du dioxyde de carbone);
- c) autres gaz toxiques pouvant être présents;

NOTE Les incendies impliquant des huiles minérales isolantes peuvent générer les produits toxiques suivants: acroléine, formaldéhyde et hydrocarbures aromatiques polycycliques. Ceux impliquant des huiles isolantes contaminées par des polychlorobiphényles peuvent générer des polychlorodibenzodioxines et furannes toxiques.

- d) température des gaz (thermocouple ou thermopile);
- e) pression (débit de masse total du mélange air/effluent du feu);
- f) concentration de fumée et densité optique; et
- g) corrosion métallique.

L'appareil d'inflammabilité de la FMRC (Factory Mutual Research Corporation) [4] et le calorimètre conique (ISO 5660-1) [5] sont considérés comme des types d'appareils adaptés.

9.2.6 Pertinence des résultats d'essai des scénarios feu

Le risque 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, les débits calorifiques et les effluents du feu, on peut évaluer les risques thermiques et non thermiques relatifs attendus dans les feux mettant en cause des équipements électrotechniques, sur la base des principes suivants:

- plus le point de feu est élevé, plus l'allumage est difficile;
- plus les débits calorifiques et les effluents du feu sont faibles, en cas d'allumage, plus le risque 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.

9.2.5 Test apparatus

The test apparatus should have the capability of measuring the heat release rate of liquids.

The test apparatus should have provisions to impose heat flux from external heat sources or flame in an approximately uniform fashion to test specimens in the ignition zone.

Test apparatus with imposed heat flux should have provision for an ignitor for the material vapour/air mixture. An electrical spark ignitor or a pre-mixed gas/air flame is found to be satisfactory. Test apparatus with flame impingement should have provisions to apply the flame in a uniform fashion.

There should be provisions for exhaust systems to capture all the fire effluent/air mixture and instrumentation of sufficient sensitivities for the measurements of

- a) concentrations of oxygen (oxygen consumption method);
- b) carbon dioxide and carbon monoxide (carbon dioxide generation method);
- c) other toxic gases which may be present;

NOTE Toxic effluents from fires involving mineral insulating oils may include acrolein, formaldehyde and polyaromatic hydrocarbons. In fires involving insulating liquids contaminated by polychlorinated biphenyls, toxic effluents may include polychlorodibenzodioxins and furans.

- d) gas temperature (thermocouple or thermopile);
- e) pressure (total mass flow rate of the fire effluent-air mixture);
- f) smoke concentration and optical density; and
- g) metal corrosion.

The FMRC (Factory Mutual Research Corporation) flammability apparatus [4] and the cone calorimeter (ISO 5660-1) [5] are suggested as suitable types of apparatus.

9.2.6 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 fire point, heat release rates and fire effluent, the relative thermal and non-thermal hazards expected in fires involving electrotechnical equipment can be assessed, based on the principle that

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

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.

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 [6] pour les transformateurs et les appareils de connexion et par la CEI 60465 [7] 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 askarels, qui contiennent des 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 risque de feu. Les askarels 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 d'askarel et ses 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 askarels sont toxiques et ne se décomposent pas dans l'environnement, tout comme les PCB non décomposés, ce qui présente un risque pour l'environnement. La poursuite de l'utilisation et de la fabrication des askarels a été interdite au niveau mondial.

Pour remplacer les askarels des transformateurs, des liquides isolants moins inflammables (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 septante. 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 askarels. Bien que le produit éjecté puisse être décomposé et allumé par l'arc, la combustion était seulement de courte durée.

Plus de 150000 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 askarels, ces liquides isolants de la Classe K ne présentent pas un risque similaire pour l'environnement.

Jusqu'en 1970, les askarels 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 [8]. A la différence des askarels, 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'huile minérale, mais depuis les années soixante on utilise les liquides d'hydrocarbures aromatiques de synthèse.

En 1992, le TC 10 de la CEI a publié la CEI 61100, qui classe les liquides isolants selon leur point de feu et leur pouvoir calorifique inférieur.

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 1890's, when higher-voltage transformers and cables were developed. Impregnating the porous paper, and other solid insulating materials used, 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 [6] for transformers and switchgear and IEC 60465 [7] for cables with oil ducts.

Vegetable oils (particularly castor oil) have also been used and are still used today in some types of capacitors.

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

To replace transformer askarels, less flammable insulating liquids (including silicones, esters and high molecular weight hydrocarbons) with fire points above 300 °C came into use in the 1970's. It was shown that their behaviour in a high energy arc transformer failure was similar to that of askarels. 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 askarels, these Class K insulating liquids do not pose a similar environmental hazard.

Until 1970, askarels 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 [8]. Unlike askarels, the fire point of these low viscosity synthetic aromatic liquids is about 165 °C.

Insulating liquids for cables were originally based on mineral oil, but since the 1960's synthetic aromatic hydrocarbon liquids have also been used.

In 1992, IEC TC 10 issued IEC 61100, which classifies insulating liquids according to their fire-point and net calorific value (net heat of combustion).

Plus de 90 % des liquides isolants utilisés actuellement entrent dans la catégorie la plus inflammable de la CEI 61100, 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 risques du feu et les mesures de protection appropriées sont de la plus grande importance.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60695-1-40:2002
Withdrawn

More than 90 % of all insulating liquids now in use are in the most flammable classification of IEC 61100, 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60695-1-40:2002
WithDrawn

Annexe B (informative)

Mesures de prévention et de protection contre le feu

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 risque au feu de l'emplacement, et des règlements de sécurité au feu nationaux et/ou locaux applicables.

B.1 Mesures physiques

- 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 victime.

- b) Prescription de résistance à l'éclatement pour conteneur.
- c) Dispositifs coupe-feu.
- d) Zone de confinement des liquides autour et sous les transformateurs.
- e) Installation en voûte.
- f) Extincteurs automatiques.
- g) 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.2 Mesures chimiques

- a) Utilisation de liquides ininflammables ou à point de feu élevé.
- b) Prescription de tension de claquage minimale pour le liquide isolant.

B.3 Mesures électriques

- 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.4 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.5 Maintenance et examen

- a) Examen visuel de l'équipement.
- b) Essais électriques de l'équipement et du liquide isolant.
- c) Essais chimiques du liquide isolant à la recherche de signes de dégradation du liquide isolant, de l'isolation solide et de l'équipement électrotechnique.
- d) Analyse des gaz dissous (DGA).

Annex B (informative)

Preventive and protective measures against fire

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.1 Physical

- a) Use of pressure release devices.

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

- b) Burst strength requirement for container.
- c) Fire barriers.
- d) Liquid confinement area around and under transformers.
- e) Installation in vault.
- f) Automatic fire extinguishers.
- g) Corrugated containers for expansion due to temperature increase or gas production.
- h) Nitrogen (or other inert gas) blanket.

B.2 Chemical

- a) Use of non-flammable or high fire point liquids.
- b) Minimum breakdown voltage requirement for insulating liquid.

B.3 Electrical

- a) Power fuses, internal or external.
- b) Current limiting fuses, internal or external.
- c) Other overcurrent limiting devices, internal or external.

B.4 Sensing devices

- a) Coil or insulating liquid temperature alarm and trip.
- b) Overpressure alarm and trip.
- c) Gas detection (Buchholz) relays.

B.5 Maintenance and inspection

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

e) Analyse de la teneur en PCB des liquides isolants neufs ou usagés.

NOTE Les effluents du feu des huiles contaminées par des PCB ou d'autres liquides isolants peuvent contenir des furannes et des dioxines toxiques. On ne connaît pas de manière précise les niveaux de PCB au-delà desquels cela peut se produire dans les liquides isolants. Les niveaux acceptables sont généralement considérés comme étant les mêmes que ceux pour les fuites dans l'environnement conformément aux règlements locaux et/ou nationaux. Lorsque ces niveaux sont dépassés, des mesures de protection spéciales sont exigées pour ceux qui combattent l'incendie et pour le nettoyage de l'environnement après le feu.

f) Révision de la conception de l'équipement avec le constructeur (pour les types d'équipements électrotechniques présentant des risques élevés de feu ou d'explosion en service).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60695-1-40:2002
Withdrawn

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

NOTE Fire effluents from PCB contaminated oil or other insulating liquids may contain toxic furans and dioxins. The levels of PCB 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 firefighters 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 TS 60695-1-40:2002
Withdrawn

Annexe C (informative)

Transformateurs

Le choix d'un transformateur pour une application particulière dépend d'un grand nombre de facteurs. Les gros transformateurs de puissance fonctionnant à des tensions comprises entre 33 kV et 400 kV et au-dessus sont toujours remplis avec une huile minérale avec un degré de raffinage très élevé. Ces transformateurs sont toujours installés à l'extérieur et leurs fondations sont conçues pour assurer un confinement par cailloutage de toute fuite d'huile. En utilisant cette méthode, on réduit la probabilité de développement d'un feu à partir d'une mare de liquide.

Ce type de transformateur est équipé de protection contre les surintensités et les défauts à la terre, de protection différentielle, de protection de la température de l'enroulement et d'alarme et de circuit de déclenchement liés à la température de l'huile. Le transformateur est équipé d'un conservateur d'huile avec une alarme et un circuit de déclenchement de niveau d'huile et un relais de gaz Buchholz à surcharge pour alarme et déclenchement en cas de gazage ou de défaut de décharge.

Les gros transformateurs de puissance sont équipés de changeurs de prises en charge, et des défaillances à l'intérieur de ces unités de commutation complexes peuvent causer des dommages au transformateur.

Les transformateurs extérieurs sont situés à l'écart des bâtiments et protégés contre l'accès par le public. De plus, des systèmes de protection contre le feu avec arrosage par eau peuvent être installés.

Beaucoup de gros transformateurs sont montés à l'intérieur d'enceintes insonorisées, généralement en béton ou en briques, qui contribuent aussi à la protection contre le feu.

S'il y a plusieurs transformateurs, ils sont fréquemment séparés par des parois pare-flammes pour empêcher qu'une défaillance grave d'une unité n'affecte une unité adjacente.

Les transformateurs de distribution publique de puissance comprise entre 100 kVA et 1000 kVA sont remplis d'huile minérale et peuvent se trouver à l'extérieur, dans des enveloppes en acier, en béton ou GRP, ou dans des postes de sécurité désignés à l'intérieur de bâtiments.

Les systèmes de distribution secondaires avec coupe-circuit ou disjoncteurs limitent la durée des courts-circuits, et les disjoncteurs ou les protections HT à fusibles couperont rapidement l'alimentation en cas de défaut interne.

Pour les installations intérieures, des dispositions sont nécessaires pour la rétention des liquides et, au minimum, il convient que des extincteurs portables adaptés aux feux d'origine électrique soient disponibles. L'utilisation de transformateurs remplis d'huile minérale à l'intérieur de bâtiments tend à être restreinte à des zones spécialement désignées, par exemple sous-sols ou parkings, où il est peu probable qu'ils soient concernés par un incendie de bâtiment.

On peut spécifier que les transformateurs de la gamme 500 kVA à 2000 kVA pour applications industrielles pour lesquels il existe un risque de feu élevé soient remplis d'un liquide de la Classe K résistant au feu avec un point de feu supérieur à 300 °C. Ces transformateurs peuvent être installés à l'extérieur des bâtiments ou à l'intérieur dans des postes désignés.

Annex C (informative)

Transformers

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 always filled with highly refined mineral oil. These transformers are invariably 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 developing is minimised.

This type of transformer is fitted with overcurrent and earth fault protection, differential protection, winding temperature protection and oil temperature alarm and trip. The transformer is fitted with an oil conservator with an oil level alarm and trip, and a Buchholz gas and surge operated relay to alarm and trip in the event of gassing 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.

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 catastrophic failure of one unit affecting an adjacent unit.

Public distribution transformers in the range 100 kVA to 1 000 kVA are mineral oil 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 in the range 500 kVA to 2 000 kVA 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.

Ce type de transformateur est généralement scellé de manière hermétique et le réservoir peut être de type ondulé permettant l'expansion ou avoir un espace libre de réservoir à expansion rempli d'azote.

En plus de la protection électrique standard, on peut équiper le réservoir d'une soupape de surpression pour l'évacuation des gaz générés par un défaut et pour déclencher aussi l'alimentation en entrée.

A l'intérieur des bâtiments publics, en particulier de grande hauteur ou destinés à accueillir un grand nombre de personnes, les performances au feu deviennent un enjeu capital. En fonction des règlements et de la pratique au niveau local, on préfère parfois des transformateurs de type sec qui ne nécessitent pas de disposition pour la rétention des liquides isolants, en particulier en Europe. La pratique internationale varie et il faut étudier en détail chaque isolation spécifique.

Les notes ci-dessus sont destinées à donner des indications générales concernant la protection contre le feu de différents types de transformateurs, mais il est généralement nécessaire d'étudier chaque application spécifique en détail pour s'assurer que le meilleur choix est fait; des types différents de transformateurs seront souvent utilisés dans des applications et des environnements différents dans un même projet.

Plusieurs normes et documents techniques font référence aux performances au feu des transformateurs; on peut citer comme exemples la CEI 60076-8 [9], la CEI 61330 [10] et l'ISO 14000 [11].

IECNORM.COM : Click to view the full PDF objects (TS 60695-1-40:2002)

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 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.

The above short notes are 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 often different types of transformers will be used in different applications and environments on the same project.

Several standards and technical papers refer to transformer fire performance and examples include: IEC 60076-8 [9], IEC 61330 [10] and ISO 14000 [11].

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60695-1-40:2002

Withdrawn

Annexe D (informative)

Condensateurs de puissance

Peu de feux sont réputés avoir pour origine des ensembles de condensateurs HT remplis de liquide isolant, en partie parce qu'ils sont désormais bien protégés par les coupe-circuit, externes et internes, les relais de protection rapides ou les parafoudres.

La plupart des défaillances n'entraînent pas de feu. Les ensembles de condensateurs à l'intérieur des postes sont entourés d'une clôture pour fournir une protection en cas de rupture d'une unité de condensateur.

Cependant, il convient d'accorder une attention particulière aux installations où des condensateurs remplis d'askarels sont proches d'autres équipements pouvant soit causer, soit participer à un feu, car la décomposition thermique des askarels produit des effluents du feu extrêmement toxiques.

Les unités de condensateurs ne contiennent individuellement qu'un faible volume de liquide isolant dont seulement une faible quantité (en général 10 % à 20 %) est constitué par du liquide qui peut se renverser et participer à un feu de mare. Dans de nombreuses applications à basse tension, des batteries de condensateurs remplis de liquide isolant sont installées à l'intérieur de bâtiments industriels ou commerciaux. Pour de telles installations, la batterie de condensateurs est normalement située pour en restreindre l'accès et pour minimiser la contribution des condensateurs comme victime dans un feu de bâtiment.

IECNORM.COM : Click to view the full text of TS 60695-1-40:2002

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 fuses, external or internal, fast acting protection relays or surge arresters.

Most failures are not followed by fires. Capacitor packs in sub-stations are surrounded by a fence to provide protection, should a capacitor unit rupture.

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

Capacitor units each contain only a small volume of insulating liquid of which only a smaller amount (typically 10 % to 20 %) is free liquid which 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 to restrict access and to minimise the contribution of the capacitors as victim in a building fire.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF
TS 60695-1-40 2002

Annexe E (informative)

Câbles

E.1 Généralités

Les liquides isolants sont nécessaires pour imprégner tous les câbles dans lesquels l'isolation principale est constituée par du papier. Les principales fonctions de ces produits pour l'imprégnation sont les suivantes:

- faire partie de l'isolation diélectrique huile/papier. Une gaine métallique est nécessaire pour empêcher l'absorption d'eau;
- par pressurisation du fluide, éliminer les vides remplis de gaz dans toutes les conditions de fonctionnement dans les câbles conçus pour fonctionner avec des contraintes électriques élevées, en supprimant ainsi les décharges électriques qui pourraient causer une défaillance; et,
- dans une certaine mesure, augmenter la conductivité thermique de l'isolation pour augmenter au maximum les caractéristiques du câble.

Les câbles à isolation solide sont de plus en plus spécifiés pour les nouvelles installations, mais de grandes quantités de câbles de puissance imprégnés sont installés dans le monde entier et restent en service avec une durée de vie attendue qui se chiffre en années. Pour certaines applications comme la distribution en sous-marin et pour les réseaux de tensions assignées supérieures à 275 kV, le papier imprégné reste le moyen d'isolation de choix. Les câbles de communication peuvent également contenir des produits d'imprégnation tels que le petrolatum, qui sont utilisés pour bloquer la pénétration longitudinale de l'eau.

On peut répartir les produits d'imprégnation pour câbles de puissance selon les types suivants:

- a) liquides juste au-dessus de la température de service (par exemple à 80 °C) mais solides aux températures ambiantes et de service. Ces types auront des points éclair en vase ouvert (voir ISO 2592) supérieurs à 220 °C et sont utilisés dans des câbles conçus pour fonctionner jusqu'à 33 kV en courant alternatif. Ces câbles sont décrits comme des câbles à matière non migrante et sont utilisés pour la distribution d'énergie électrique dans les zones urbaines, pour l'alimentation des services et de l'industrie. Dans une situation de feu, l'imprégnant connaîtra un écoulement sous l'influence de la gravité et de l'expansion thermique, mais ne constituera pas une source continue de liquide combustible;
- b) liquides à viscosité élevée (par exemple $>10000 \text{ mm}^2/\text{s}$ aux températures ambiantes) qui sont également très visqueux à la température de fonctionnement mais qui sont de viscosité moyenne (par exemple $<100 \text{ mm}^2/\text{s}$) juste au-dessus de la température de service. Ces liquides ont typiquement des points éclair en vase ouvert au-dessus de 220 °C et sont utilisés dans des conceptions de câbles à courant alternatif de conception assez ancienne pour la distribution d'énergie électrique urbaine et industrielle à des tensions jusqu'à 33 kV et pour certains câbles jusqu'à 500 kV. Dans une situation de feu, le liquide s'écoulera sous l'influence de la gravité et à cause de l'expansion, mais ne constituera pas une source continue de liquide combustible;
- c) liquides à viscosité moyenne (par exemple $>1000 \text{ mm}^2/\text{s}$) aux températures ambiantes et de service, avec des viscosités faibles à des températures plus élevées et typiques pour les points éclair en vase ouvert au-dessus de 200 °C. Ils peuvent être utilisés pour remplir les câbles de type en tube (voir CEI 60141-1 [12]) qui fonctionnent à des tensions jusqu'à 500 kV en courant continu dans lesquels l'imprégnant en papier réel est bien plus visqueux (par exemple $>3000 \text{ mm}^2/\text{s}$). De tels câbles sont pressurisés de manière active par pompage, de telle manière que si le câble en tube se rompt lorsqu'il entre dans une chambre de jonction, le liquide peut s'écouler dans un feu extérieur jusqu'à désactivation de la pompe par un interrupteur de sécurité ou jusqu'à ce que le volume libre de liquide soit vidé;

Annex E (informative)

Cables

E.1 General

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

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

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. 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) liquids at just above the service temperature (e.g. at 80 °C) but solid at ambient and service temperatures. These will typically have open cup flash points (see ISO 2592) above 220 °C and are used in cables designed to operate at up to 33 kV a.c. These cables are described as non-draining and are used for power distribution in urban areas, to supply services and industry. In a fire situation, the impregnant will drain under gravity and due to thermal expansion, but will not provide a continuing source of combustible liquid fuel;
- b) high viscosity liquids (e.g. $>10000 \text{ mm}^2/\text{s}$ at ambient temperatures) which are also very viscous at operating temperature but of medium viscosity (e.g. $<100 \text{ mm}^2/\text{s}$) at just above service temperature. These liquids typically have open cup flash points above 220 °C and are used in some older designs of a.c. cable for urban and industrial power distribution at voltages up to 33 kV, and some power cables up to 500 kV. In a fire situation, the liquid will drain under gravity and due to expansion, but will not provide a continuing source of combustible liquid;
- c) medium viscosity liquids (e.g. $>1000 \text{ mm}^2/\text{s}$) at ambient and service temperatures, with low viscosities at higher temperatures and typical open cup flash points above 200 °C. They may be used to fill pipe-type cables (see IEC 60141-1 [12]) which operate at voltages up to 500 kV d.c. and in which the actual paper impregnant is much more viscous (e.g. $>3000 \text{ mm}^2/\text{s}$). Such cables are actively pressurised by pumping, so that if the cable pipe is ruptured where it enters a joint chamber, the liquid may flow into an external fire until the pump is inactivated by a safety switch or until the free volume of liquid is exhausted;

- d) liquides à faible viscosité (par exemple $>15 \text{ mm}^2/\text{s}$ aux températures ambiantes et de service) avec des points éclairs en vase ouvert au-dessus de $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Ces liquides sont utilisés dans les câbles à courant alternatif à des tensions comprises entre 33 kV et 500 kV pour les câbles urbains. Dans un feu extérieur, le liquide isolant sera expulsé sous la pression de son réservoir jusqu'à ce que le réservoir soit vide, ce qui peut concerner des centaines de litres de liquide ;
- e) liquides à très faible viscosité (par exemple $<5 \text{ mm}^2/\text{s}$ aux températures ambiantes) avec des points éclairs en vase ouvert d'environ $115 \text{ }^\circ\text{C}$. Ces liquides sont utilisés dans les câbles sous-marins à courant alternatif et à courant continu de grande longueur. Les réservoirs contiennent plusieurs dizaines de mètres cubes sous vide. Les pressions hydrauliques peuvent être de l'ordre de 20 bars à 25 bars.

La plupart de ces imprégnants sont à base d'hydrocarbures et sont donc inflammables. Dans le cas de câbles enterrés, les risques du feu sont limités, à l'exception des emplacements où le câble est exposé à l'air libre comme dans les baies ou chambres de jonction, les tunnels, les puits ou les colonnes montantes, les conduits non remplis ou à l'intérieur de bâtiments comme les stations de commutation. Cependant, c'est dans de tels emplacements que le câble est le plus susceptible d'être sujet à un feu et que les conséquences sont les plus susceptibles d'être sérieuses. Dans les situations où le risque de feu est relativement élevé, certains câbles ont été imprégnés par des liquides à base de silicones à points d'éclair et de feu élevés, pour réduire le risque de feu associé des liquides isolants des câbles à hydrocarbures [13]. De tels câbles ne sont pas d'usage général en raison des coûts relativement élevés du liquide isolant et des exigences pour la production et les installations de traitement des câbles spéciaux. Les gels dans les câbles de communication sont à base soit d'hydrocarbures soit de silicones.

E.2 Câbles de communication

Les imprégnants utilisés dans les câbles de communication, soit avec conducteurs métalliques soit avec fibres optiques, sont des gels visqueux à température ambiante (qui est généralement aussi la température de service) mais qui peuvent être liquides à des températures plus élevées. Leur point éclair en vase ouvert est typiquement supérieur à $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Dans un feu extérieur, si l'imprégnant se liquéfie, il connaîtra un écoulement sous l'influence de la gravité et de l'expansion, si la gaine de câble se rompt, mais ne constituera pas une source continue de liquide combustible.

E.3 Câbles avec mélanges arrêtant l'eau

Les câbles de communication et de puissance à isolation solide, mais dans lesquels des gels ou des graisses sont utilisés pour le blocage de l'eau, peuvent être soumis aux essais de sécurité au feu sous forme de câbles complets. Il convient que les mélanges arrêtant l'eau ne se liquéfient pas à des températures maximales qui peuvent être atteintes en service (typiquement $80 \text{ }^\circ\text{C}$).

E.4 Terminaisons de câble

Les terminaisons de câble pour tensions assez élevées peuvent contenir quelques 100 l de liquides à faible ou très faible viscosité dans une enveloppe en céramique ou composite.