

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Insulating liquids – Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes

Liquides isolants – Spécifications relatives aux esters organiques de synthèse neufs destinés aux matériels électriques



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 61099

Edition 2.0 2010-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Insulating liquids – Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes

Liquides isolants – Spécifications relatives aux esters organiques de synthèse neufs destinés aux matériels électriques

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

N

ICS 29.040

ISBN 978-2-88912-160-1

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 General remarks.....	7
5 Health, safety and environment (HSE) properties (liquid properties related to safe handling and environment protection)	8
5.1 Flash point and fire point.....	8
5.2 Biodegradation	8
5.3 Toxicity	8
6 Classification, identification, general delivery requirements, sampling, packaging and disposal.....	8
6.1 Classification.....	8
6.2 Identification and general delivery requirements, sampling, packaging and disposal.....	8
6.3 Storage	8
6.4 Representative sampling	9
6.5 Disposal and spillages.....	9
7 Properties of synthetic organic esters.....	9
7.1 Physical properties, significance and test methods.....	9
7.1.1 Colour	9
7.1.2 Appearance	9
7.1.3 Density.....	9
7.1.4 Kinematic viscosity	9
7.1.5 Flash point and fire point	9
7.1.6 Pour point.....	9
7.1.7 Crystallization.....	9
7.1.8 Water content.....	9
7.1.9 Acidity	9
7.1.10 Oxidation stability	10
8 Electrical properties.....	10
8.1 Breakdown voltage.....	10
8.2 Dielectric dissipation factor, permittivity and d.c. resistivity.....	10
8.3 Gassing tendency.....	10
9 Specifications for synthetic organic esters used in transformers	10
Annex A (informative) Determination of crystallization	12
Annex B (informative) Specifications for synthetic organic esters used in capacitors.....	13
Bibliography.....	14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INSULATING LIQUIDS –
SPECIFICATIONS FOR UNUSED SYNTHETIC
ORGANIC ESTERS FOR ELECTRICAL PURPOSES****FOREWORD**

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

International Standard IEC 61099 has been prepared IEC technical committee 10: Fluids for electrotechnical applications.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1992 and constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition relate to the aim of giving a more updated specification of synthetic organic esters when used as insulating liquids.

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

FDIS	Report on voting
10/813/FDIS	10/821/RVD

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

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

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

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

INTRODUCTION

Health and safety

This International Standard does not purport to address all the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of the standard to establish appropriate health and safety practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

Unused synthetic esters which are the subject of this standard should be handled with due care with regard to personal hygiene. Direct contact with eyes may cause slight irritation. In the case of eye contact, irrigation with copious quantities of clean running water should be carried out and medical attention sought.

Some of the tests specified in this standard involve the use of processes that could lead to a hazardous situation. Attention is drawn to the relevant standard for guidance.

Environment

The disposal of synthetic esters, chemicals and sample containers mentioned in this standard should be carried out in accordance with local regulations with regard to their environmental impact. Precautions should be taken to prevent the release of synthetic esters into the environment.

INSULATING LIQUIDS – SPECIFICATIONS FOR UNUSED SYNTHETIC ORGANIC ESTERS FOR ELECTRICAL PURPOSES

1 Scope

This International Standard covers the specification and test methods for unused synthetic organic esters.

It applies to synthetic organic esters, delivered to the agreed point and time of delivery intended, for use in transformers, switchgear and similar related equipment in which synthetic organic esters are required as an insulant and for heat transfer. These unused synthetic organic esters are obtained by chemical processing and physical treatments of fatty acids and polyols.

NOTE Maintenance of synthetic organic esters in equipment is covered in a separate standard (IEC 61203).

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 60156, *Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method.*

IEC 60247, *Insulating liquids – Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) and d.c. resistivity*

IEC 60475, *Method of sampling liquid dielectrics*

IEC 60628:1985, *Gassing of insulating liquids under electrical stress and ionization*

IEC 60814, *Insulating liquids – Oil-impregnated paper and pressboard – Determination of water by automatic coulometric Karl Fischer titration*

IEC 61039, *Classification of insulating liquids*

IEC 61125:1992, *Unused hydrocarbon-based insulating liquids – Test methods for evaluating the oxidation stability*

IEC 61620, *Insulating liquids – Determination of the dielectric dissipation factor by measurement of the conductance and capacitance – Test method*

IEC 62021-1, *Insulating liquids – Determination of acidity – Part 1: Automatic potentiometric titration*

IEC 62021-2, *Insulating liquids – Determination of acidity – Part 2: Colourimetric titration*

ISO 2211, *Liquid chemical products – Measurement of colour in Hazen units (platinum-cobalt scale)*

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

ISO 2719, *Determination of flash-point – Pensky Martens closed cup method*

ISO 3016, *Petroleum products – Determination of pour-point*

ISO 3104, *Petroleum products – Transparent and opaque liquids – Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity*

ISO 3675, *Crude petroleum and liquid petroleum products – Laboratory determination of density – Hydrometer method*

ISO 12185, *Crude petroleum and petroleum products – Determination of density – Oscillating U-tube method*

OECD 301:1992, *OECD guideline for testing of chemicals – Ready biodegradability*

3 Terms and definitions

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

3.1

unused synthetic organic esters

liquid based on synthetic organic esters as delivered by the supplier

3.2

additive

suitable chemical substance/s which is/are deliberately added to a synthetic organic ester in order to improve certain characteristics, e.g. pour point, viscosity, foaming, oxidation stability

NOTE If additives are used, these should be mentioned by the supplier to the user, if requested. This may involve issues of confidentiality in an agreement. Additives, if used, need to comply with local regulations.

4 General remarks

The unused synthetic organic esters to which this standard applies are liquids which contain only carbon, hydrogen and oxygen. They are prepared from mono- or polyhydric alcohols and mono- or polybasic aliphatic or aromatic acids. Commercial products may be based on single esters or a mixture of esters and may contain oxidation inhibitors and other additives.

Unused synthetic organic esters selected for use in transformers have high flash and fire points and are therefore relatively difficult to ignite. They may, however, have slightly higher viscosities than mineral insulating oils.

Unused synthetic organic esters are more hygroscopic than mineral oils and this aspect will need to be considered in their use and maintenance.

NOTE Such a liquid, by definition, has not been used in, nor been in contact with, electrical equipment or other equipment not required for manufacture, storage or transport. The manufacturers and suppliers of unused synthetic organic esters will have taken all reasonable precautions to ensure that the liquid is not contaminated with polychlorinated biphenyls or terphenyls (PCB, PCT); used, reclaimed or dechlorinated oils; or other contaminants.

5 Health, safety and environment (HSE) properties (liquid properties related to safe handling and environment protection)

5.1 Flash point and fire point

The safe operation of electrical equipment requires an adequately high fire point that is measured in accordance with ISO 2592 (Cleveland open cup). Flash point is measured with ISO 2719 (Pensky-Martens closed cup procedure).

5.2 Biodegradation

Unused synthetic organic esters as supplied in electrical applications are of interest because of their higher fire points and better environmental compatibility, relative to petroleum derived insulating mineral oil. Specific tests need to be undertaken to demonstrate biodegradability of these liquids. Tests include OECD 301 / OPPTS 835.3110 (US EPA). The biodegradability of unused synthetic ester fluids can be classified using OECD 301 according to the IEC 61039.

5.3 Toxicity

Unused synthetic organic esters are considered non-toxic and suppliers shall supply assays that define the product as non-toxic.

NOTE Toxicity of unused synthetic organic ester can be assessed with test methods such as modified Ames assay or other suitable internationally recognized assays.

6 Classification, identification, general delivery requirements, sampling, packaging and disposal

6.1 Classification

For the purpose of this standard, unused synthetic ester insulating liquids are classified into a single class: less flammable synthetic organic ester liquids.

6.2 Identification and general delivery requirements, sampling, packaging and disposal

Requirements shall be as follows:

- a) Unused synthetic organic esters are normally delivered in bulk, in rail tank cars, tank containers or packed in drums or intermediate bulk containers. These shall be clean and suitable for this purpose to avoid any contamination.
- b) Liquid drums and sample containers shall carry at least the following markings:
 - supplier's designation;
 - classification;
 - liquid net weight.
- c) Unused synthetic organic ester delivery shall be accompanied by a document from the supplier specifying at least: supplier's designation, liquid classification and quality certificate. At the purchaser's request, the supplier shall indicate the presence of any additive.

6.3 Storage

Storage should preferably be indoors and in suitable closed containers to prevent ingress of contamination. In the event of accidental contamination by water and/or solid particles during storage, the liquid can normally be restored to an acceptable quality by vacuum treatment followed by filtration or by using solid drying agents such as molecular sieves, followed by filtration.

6.4 Representative sampling

Representative sampling shall be carried out in accordance with the procedure described in IEC 60475.

6.5 Disposal and spillages

Synthetic organic esters should be disposed of in accordance with local regulations. Spillages should be cleaned according to the directions given in the materials safety data sheet.

7 Properties of synthetic organic esters

NOTE Characteristics are listed in specification Sheet 1.

7.1 Physical properties, significance and test methods

7.1.1 Colour

Colour shall be measured according to ISO 2211.

7.1.2 Appearance

A visual inspection of synthetic ester liquids (oil sample in transmitted light under a thickness of approximately 10 cm and at ambient temperature) indicates the presence of visible contaminants, free water and suspended matter.

7.1.3 Density

Density of the liquid shall be measured in accordance with ISO 3675 or ISO 12185.

7.1.4 Kinematic viscosity

Kinematic viscosity shall be measured according to ISO 3104.

NOTE The cold start behaviour of synthetic organic esters may be different from mineral oil.

7.1.5 Flash point and fire point

The safe operation of electrical equipment requires an adequately high flash and fire point. The flash point is measured by ISO 2719 (Pensky-Martens closed cup procedure), and the fire point is measured in accordance with ISO 2592 (Cleveland open cup).

7.1.6 Pour point

The pour point shall be determined according to ISO 3016.

7.1.7 Crystallization

Crystallisation shall be determined according to the test method description in Annex A.

7.1.8 Water content

Water content shall be measured in accordance with IEC 60814.

7.1.9 Acidity

The acidity should be determined in accordance with IEC 62021-1 or IEC 62021-2.

NOTE Precision data reported in these methods do not apply to synthetic esters.

7.1.10 Oxidation stability

Oxidation stability of synthetic organic esters can be assessed with IEC 61125:1992, Method C for 164 h. There is also the option to test at 500 h to allow for the extra stability of synthetic organic esters. This extra test is optional with no requirement in this standard.

8 Electrical properties

8.1 Breakdown voltage

Breakdown voltage of unused synthetic esters insulating liquid shall be measured in accordance with IEC 60156. However, because of the different properties of synthetic esters as compared to mineral oil, an extended initial set up time is required.

NOTE To include the wait time for the extra viscosity of synthetic ester, some modification of the method may be needed. This is an extension of the time between pouring into the test cell and testing to allow gas bubbles to come out of the fluid. It is recommended that a wait period of at least 1 h between loading the cell and the first breakdown arc is recommended. Also to ensure that there are no visible bubbles in the liquid.

8.2 Dielectric dissipation factor, permittivity and d.c. resistivity

The dielectric dissipation factor (DDF) is a measure for dielectric losses caused by the liquid. Increased DDF can indicate contamination of the liquid by moisture, particles or soluble polar contaminants or poor refining quality. DDF shall be measured in accordance with IEC 60247 or IEC 61620 both methods at 90 °C. In case of dispute, IEC 60247 at 90 °C should be used.

8.3 Gassing tendency

Gassing tendency shall be measured according to Method A of IEC 60628:1985 but there is no requirement in this standard.

9 Specifications for synthetic organic esters used in transformers

When tested in accordance with the methods specified in this standard, the properties of the unused liquid shall comply with the requirements given in specification sheet 1.

Specification sheet 1 –**Transformer ester – Type T1**

This type of ester is prepared from a polyhydric alcohol (polyol) and a mixture of monocarboxylic acids with suitable stabilizing additives as required to meet the properties specified below.

Property	Test method	Permissible values
Physical		
Colour	ISO 2211	Max. 200 Hazen
Appearance	Visual	Clear, free from water and suspended matter and sediment
Density at 20 °C (kg/dm ³)	ISO 3675 or ISO 12185	Max. 1 000
Kinematic viscosity at 40 °C (mm ² /s) at –20 °C (mm ² /s)	ISO 3104	Max. 35 Max. 3 000
Flash-point (°C)	ISO 2719	Min. 250
Fire-point (°C)	ISO 2592	Min. 300
Pour-point (°C)	ISO 3016	Max. –45
Chemical		
Water content (mg/kg)	IEC 60814	Max. 200 ^a
Acidity (mg KOH/g)	IEC 62021-1 or IEC 62021- 2	Max. 0,03
Oxidation stability ^b	IEC 61125, Method C	
Test duration 164 h		
Total acidity (mg KOH/g)		Max. 0,3
Total sludge (% mass)		Max. 0,01
Electrical		
Breakdown voltage (kV)	IEC 60156	Min. 45 ^a (See Clause 8)
Dielectric dissipation factor, tan δ at 90 °C and 50 Hz	IEC 60247 or IEC 61620	Max. 0,03 ^{a, c}
DC resistivity at 90 °C (G Ω × m)	IEC 60247	Min. 2
^a For untreated liquid, as received. ^b Oxidation stability (IEC 61125, Method C) at 500 h is an optional extra test. No requirement in this standard. ^c For frequencies (f (Hz)) in the range of 48 Hz to 62 Hz, convert values as follows: $\tan \delta [f (50 \text{ Hz})] = \frac{f (\text{Hz})}{50} \times \tan \delta [f (\text{Hz})]$		

Annex A (informative)

Determination of crystallization

A.1 General comment

Determining the likelihood of crystal formation in synthetic organic esters could be a requirement for type testing.

A.2 Outline of the method

This method describes a procedure for assessing the tendency of synthetic organic esters to crystallize under certain specific conditions.

A.3 Apparatus

The apparatus shall consist of

- a) crystallizing dish of adequate capacity (150 ml to 250 ml),
- b) a refrigerator able to maintain a temperature of $-25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.

A.4 Procedure

Proceed as follows:

- a) Pour approximately 100 ml of the synthetic organic ester to be tested into the crystallizing dish.
- b) Store the crystallizing dish filled with the synthetic ester in the refrigerator for 16 h maintained at $-25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.
- c) At the end of the test period examine the liquid sample visually in order to detect the presence of crystals.

Annex B (informative)

Specifications for synthetic organic esters used in capacitors

This specification concerning synthetic organic esters used in capacitors is based on the previous version of this standard, and is only included here for information.

When tested in accordance with the methods specified in this standard, the properties of the unused synthetic organic esters shall comply with the requirements given in specification sheet 2.

Specification sheet 2 –

Capacitor ester – Type C1

This type of ester usually consists entirely of di-2-ethylhexyl orthophthalate.

Property	Test method	Permissible values
Physical		
– Colour	ISO 2211	Max. 200
– Appearance	Visual	Clear, free from suspended matter and sediment
– Density at 20 °C (kg/dm ³)	ISO 3675 or ISO 12185	Max. 0,990
– Viscosity at 40 °C (mm ² /s)	ISO 3104	Max. 30
– Flash-point (°C)	ISO 2719	Min. 190
– Fire-point (°C)	ISO 2592	Min. 220
– Pour-point (°C)	ISO 3016	Max. –39
Chemical		
– Water content (mg/kg)	IEC 60814	Max. 200 ^a
– Neutralization value (mg KOH/g)	IEC 62021- 1 or IEC 62021- 2	Max. 0,03
Electrical		
– Breakdown voltage (kV)	IEC 60156	Min. 50 ^a
– Dielectric dissipation factor, tan δ at 90 °C and 50 Hz	IEC 60247 or IEC 61620	Max. 0,03 ^{a, b}
– Permittivity at 90 °C and 50 Hz	IEC 60247	4,2 to 4,4
^a For untreated liquid, as received. ^b For frequencies (f (Hz)) in the range of 48 Hz to 62 Hz, convert values as follows: $\tan \delta [f (50 \text{ Hz})] = \frac{f (\text{Hz})}{50} \times \tan \delta [f (\text{Hz})]$		

Bibliography

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

ISO 5661, *Petroleum products – Hydrocarbon liquids – Determination of refractive index*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	17
INTRODUCTION.....	19
1 Domaine d'application	20
2 Références normatives	20
3 Termes et définitions	21
4 Remarques générales	21
5 Propriétés liées à la santé, la sécurité et l'environnement (HSE) (propriétés des liquides liées à leur manipulation en toute sécurité et à la protection de l'environnement).....	22
5.1 Point d'éclair et point de feu	22
5.2 Biodégradation	22
5.3 Toxicité	22
6 Classification, identification, exigences générales de livraison, échantillonnage, emballage et élimination.....	22
6.1 Classification.....	22
6.2 Exigences d'identification et exigences générales de livraison, échantillonnage, emballage et élimination	22
6.3 Stockage	23
6.4 Echantillonnage représentatif	23
6.5 Elimination et déversements accidentels	23
7 Propriétés des esters organiques de synthèse.....	23
7.1 Propriétés physiques, importance et méthodes d'essai.....	23
7.1.1 Couleur	23
7.1.2 Aspect	23
7.1.3 Masse volumique.....	23
7.1.4 Viscosité cinématique	23
7.1.5 Point d'éclair et point de feu	23
7.1.6 Point d'écoulement	23
7.1.7 Cristallisation.....	24
7.1.8 Teneur en eau	24
7.1.9 Acidité	24
7.1.10 Stabilité à l'oxydation	24
8 Propriétés électriques.....	24
8.1 Tension de claquage	24
8.2 Facteur de dissipation diélectrique, permittivité et résistivité en courant continu	24
8.3 Tendance au gassing	24
9 Spécifications relatives aux esters organiques de synthèse utilisés dans les transformateurs	24
Annexe A (informative) Détermination de la cristallisation.....	26
Annexe B (informative) Spécifications relatives aux esters organiques de synthèses utilisés dans les condensateurs	27
Bibliographie.....	28

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**LIQUIDES ISOLANTS –
SPÉCIFICATIONS RELATIVES AUX ESTERS ORGANIQUES
DE SYNTHÈSE NEUFS DESTINÉS AUX MATÉRIELS ÉLECTRIQUES**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de 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 Norme internationale CEI 61099 a été établie par le comité d'études 10 de la CEI: Fluides pour applications électrotechniques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1992. Elle constitue une révision technique.

Les modifications principales par rapport à l'édition précédente concernent l'objectif de fournir une spécification plus à jour concernant les esters organiques de synthèse lorsqu'ils sont utilisés en tant que liquides isolants.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
10/813/FDIS	10/821/RVD

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

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

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

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

INTRODUCTION

Santé et sécurité

La présente Norme internationale n'est pas censée aborder tous les problèmes de sécurité liés à son utilisation. Il incombe à l'utilisateur de la norme d'établir les pratiques sanitaires et de sécurité appropriées et de déterminer l'applicabilité des limites réglementaires avant utilisation.

Il convient de manipuler les esters de synthèse neufs qui font l'objet de la présente norme dans le respect de l'hygiène des personnes. Un contact direct avec les yeux peut provoquer une légère irritation. Dans le cas d'un contact oculaire, il convient d'effectuer un lavage avec une grande quantité d'eau courante propre et de consulter un médecin.

Certains des essais spécifiés dans la présente norme impliquent des opérations pouvant conduire à une situation dangereuse. L'attention est attirée sur la norme applicable à des fins de guide.

Environnement

Il convient d'effectuer l'élimination des esters de synthèse, des produits chimiques et des conteneurs d'échantillons mentionnés dans la présente norme conformément à la réglementation locale en rapport avec les répercussions sur l'environnement. Il convient de prendre des précautions pour éviter de rejeter les esters de synthèse dans l'environnement.

LIQUIDES ISOLANTS – SPÉCIFICATIONS RELATIVES AUX ESTERS ORGANIQUES DE SYNTHÈSE NEUFS DESTINÉS AUX MATÉRIELS ÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale couvre les spécifications et les méthodes d'essai relatives aux esters organiques de synthèse neufs.

Elle est applicable aux esters organiques de synthèse, livrés au lieu et à la date de livraison convenus, destinés à être utilisés dans les transformateurs, les appareillages de connexion et matériels connexes analogues dans lesquels les esters organiques de synthèse sont exigés comme isolant et pour le transfert de chaleur. Ces esters organiques de synthèse neufs sont obtenus par transformation chimique et traitements physiques d'acides gras et de polyols.

NOTE La maintenance des esters organiques de synthèse dans les matériels est traitée dans une norme séparée (CEI 61203).

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 60156, *Isolants liquides – Détermination de la tension de claquage à fréquence industrielle – Méthode d'essai*

CEI 60247, *Liquides isolants – Mesure de la permittivité relative, du facteur de dissipation diélectrique ($\tan \delta$) et de la résistivité en courant continu*

CEI 60475, *Méthode d'échantillonnage des diélectriques liquides*

CEI 60628:1985, *Gassing des isolants liquides sous contrainte électrique et ionisation*

CEI 60814, *Isolants liquides – Cartons et papiers imprégnés d'huile – Détermination de la teneur en eau par titrage coulométrique de Karl Fischer automatique*

CEI 61039, *Classification des liquides isolants*

CEI 61125:1992, *Isolants liquides neufs à base d'hydrocarbures – Méthodes d'essai pour évaluer la stabilité à l'oxydation*

CEI 61620, *Isolants liquides – Détermination du facteur de dissipation diélectrique par la mesure de la conductance et de la capacité – Méthode d'essai*

CEI 62021-1, *Liquides isolants – Détermination de l'acidité – Partie 1: Titration potentiométrique automatique*

CEI 62021-2, *Liquides isolants – Détermination de l'acidité – Partie 2: Titration colorimétrique*

ISO 2211, *Produits chimiques liquides – Détermination de la coloration en unités Hazen (échelle platine-cobalt)*

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

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

ISO 3016, *Produits pétroliers – Détermination du point d'écoulement*

ISO 3104, *Produits pétroliers – Liquides opaques et transparents – Détermination de la viscosité cinématique et calcul de la viscosité dynamique*

ISO 3675, *Pétrole brut et produits pétroliers liquides – Détermination en laboratoire de la masse volumique – Méthode à l'aréomètre*

ISO 12185, *Pétroles bruts et produits pétroliers – Détermination de la masse volumique – Méthode du tube en U oscillant*

OCDE 301:1992, *Guide OCDE pour les essais des produits chimiques – Etat de biodégradabilité*

3 Termes et définitions

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

3.1

ester organique de synthèse neufs

liquide à base d'ester organique de synthèse tel que livré par le fournisseur

3.2

additif

substance(s) chimique(s) adaptée(s) qui est/sont délibérément ajoutée(s) à un ester organique de synthèse afin d'améliorer certaines caractéristiques, comme le point d'écoulement, la viscosité, le moussage, la stabilité à l'oxydation

NOTE Si des additifs sont utilisés, il convient que ceux-ci soient mentionnés par le fournisseur à l'utilisateur, à sa demande. Il est à noter que cela peut donner lieu à des exigences de confidentialité dans le cadre d'un accord. S'ils sont utilisés, il convient que les additifs soient conformes à la réglementation locale.

4 Remarques générales

Les esters organiques de synthèse neufs, auxquels s'applique la présente norme, sont des liquides qui ne contiennent que du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. Ils sont préparés à partir de monoalcools ou de polyalcools et de monoacides ou de polyacides aliphatiques ou aromatiques. Les produits commerciaux peuvent être constitués d'un seul ester ou d'un mélange d'esters et peuvent contenir des inhibiteurs d'oxydation et autres additifs.

Les esters organiques de synthèse neufs choisis pour être utilisés dans les transformateurs présentent des points d'éclair et de feu élevés et sont donc relativement difficiles à enflammer. Toutefois, dans certains cas, leur viscosité peut être légèrement supérieure à celle des huiles minérales isolantes.

Les esters organiques de synthèse neufs sont plus hygroscopiques que les huiles minérales, ce dont il sera nécessaire de tenir compte lors de leur utilisation ou de leur maintenance.

NOTE Un tel liquide, par définition, n'a pas été utilisé ni été en contact dans/avec des matériels électriques ou d'autres matériels non requis pour la fabrication, le stockage ou le transport. Les fabricants et les fournisseurs d'esters organiques de synthèse neufs auront pris toutes les précautions raisonnables pour s'assurer que le liquide n'est pas contaminé par des polychlorobiphényles ou des polychloroterphényles (PCB, PCT), par des huiles usagées, régénérées ou déchlorées, ou par d'autres contaminants.

5 Propriétés liées à la santé, la sécurité et l'environnement (HSE)¹ (propriétés des liquides liées à leur manipulation en toute sécurité et à la protection de l'environnement)

5.1 Point d'éclair et point de feu

Le fonctionnement en toute sécurité du matériel électrique exige un point de feu suffisamment élevé, mesuré conformément à l'ISO 2592 (Cleveland en vase ouvert). Le point d'éclair est mesuré conformément à l'ISO 2719 (procédure Pensky-Martens en vase clos).

5.2 Biodégradation

Les esters organiques de synthèse neufs tels que fournis dans les applications électriques présentent un intérêt du fait de leur point de feu supérieur et une meilleure compatibilité environnementale, par rapport à l'huile minérale isolante dérivée du pétrole. Il est nécessaire d'entreprendre des essais spécifiques pour démontrer la biodégradabilité de ces liquides. Les essais comprennent l'OECD 301 / OPPTS 835.3110 (US EPA). La biodégradabilité des esters fluides de synthèse neufs peut être classée à l'aide de l'OECD 301, conformément à la CEI 61039.

5.3 Toxicité

Les esters organiques de synthèse neufs sont considérés comme non toxiques et les fournisseurs doivent fournir des dosages qui définissent le produit comme non toxique.

NOTE La toxicité de l'ester organique de synthèse neuf peut être évaluée par les méthodes d'essai, telles que le test d'Ames modifié ou d'autres dosages adaptés reconnus à l'échelle internationale.

6 Classification, identification, exigences générales de livraison, échantillonnage, emballage et élimination

6.1 Classification

Pour les besoins de la présente norme, les isolants liquides à base d'ester de synthèse neuf sont classés en une seule catégorie: liquides à base d'ester organique de synthèse moins inflammables.

6.2 Exigences d'identification et exigences générales de livraison, échantillonnage, emballage et élimination

Les exigences doivent être les suivantes:

- a) Les esters organiques de synthèse neufs sont normalement livrés en vrac, dans des wagons-citernes, des conteneurs-citernes ou dans des fûts ou encore de grands récipients pour vrac. Ceux-ci doivent être propres et convenir à cet usage, pour éviter toute contamination.
- b) Les fûts de liquides et les récipients d'échantillons doivent comporter au minimum les marquages suivants:
 - l'appellation commerciale;
 - la classification;
 - le poids net du liquide.
- c) La livraison de l'ester organique de synthèse neuf doit être accompagnée d'un document du fournisseur précisant au moins les points suivants: l'appellation commerciale, la classification du liquide et le certificat de qualité. A la demande de l'acheteur, le fournisseur doit indiquer la présence de tout additif.

¹ HSE: en anglais, *Health, safety and environment*

6.3 Stockage

Il convient que le stockage soit situé de préférence à l'intérieur et dans des conteneurs fermés bien adaptés pour empêcher une contamination. En cas de contamination accidentelle par de l'eau et/ou des particules solides en cours de stockage, le liquide peut normalement être reconditionné à un niveau de qualité satisfaisant par un traitement sous vide, suivi d'une filtration, ou à l'aide d'agents de dessiccation solides tels que tamis moléculaires, suivi d'une filtration.

6.4 Echantillonnage représentatif

L'échantillonnage représentatif doit être effectué conformément à la procédure décrite dans la CEI 60475.

6.5 Elimination et déversements accidentels

Il convient que les esters organiques de synthèse soient éliminés conformément aux réglementations locales. Il convient de nettoyer les déversements accidentels conformément aux directives fournies dans la fiche technique de sécurité.

7 Propriétés des esters organiques de synthèse

NOTE Les caractéristiques sont énumérées dans la Feuille 1 des spécifications.

7.1 Propriétés physiques, importance et méthodes d'essai

7.1.1 Couleur

La couleur doit être mesurée conformément à l'ISO 2211.

7.1.2 Aspect

Un examen visuel des liquides à base d'ester de synthèse (échantillon d'huile en lumière transmise sous une épaisseur approximative de 10 cm et à température ambiante) indique la présence de contaminants visibles, d'eau libre et de matières en suspension.

7.1.3 Masse volumique

La masse volumique du liquide doit être mesurée conformément à l'ISO 3675 ou l'ISO 12185.

7.1.4 Viscosité cinématique

La viscosité cinématique doit être mesurée conformément à l'ISO 3104.

NOTE Le comportement en démarrage à froid des esters organiques de synthèse peut être différent de celui des huiles minérales.

7.1.5 Point d'éclair et point de feu

Le fonctionnement en toute sécurité du matériel électrique nécessite un point d'éclair et un point de feu suffisamment élevés. Le point d'éclair est mesuré conformément à l'ISO 2719 (Procédure Pensky-Martens en vase clos), et le point de feu est mesuré selon l'ISO 2592 (Cleveland en vase ouvert).

7.1.6 Point d'écoulement

Le point d'écoulement doit être déterminé conformément à l'ISO 3016.

7.1.7 Cristallisation

La cristallisation doit être déterminée conformément à la méthode d'essai décrite dans l'Annexe A.

7.1.8 Teneur en eau

La teneur en eau doit être mesurée conformément à la CEI 60814.

7.1.9 Acidité

Il convient de déterminer l'acidité conformément à la CEI 62021-1 ou à la CEI 62021-2.

NOTE Pour les méthodes en question, les données de fidélité mentionnées ne sont pas applicables aux esters de synthèse.

7.1.10 Stabilité à l'oxydation

La stabilité à l'oxydation des esters organiques de synthèse peut être évaluée à l'aide de la Méthode C de la CEI 61125:1992, pendant 164 h. Il est également possible d'effectuer l'essai pendant 500 h pour valider un surcroît de stabilité des esters organiques de synthèse. Cet essai supplémentaire est facultatif et ne fait pas partie des exigences de la présente norme.

8 Propriétés électriques

8.1 Tension de claquage

La tension de claquage des isolants liquides à base d'ester de synthèse neuf doit être mesurée conformément à la CEI 60156. Toutefois, du fait de différentes propriétés des esters de synthèse, en comparaison avec les huiles minérales, une prolongation du temps de stabilisation initial est exigée.

NOTE Pour prendre en compte le temps d'attente lié à la plus grande viscosité de l'ester de synthèse, une modification de la méthode peut être nécessaire. Il s'agit d'une augmentation du délai entre le remplissage de la cellule d'essai et l'essai pour permettre aux bulles de gaz de sortir du fluide. Il est recommandé une période d'attente d'au moins 1 h entre le remplissage de la cellule et le premier arc dû au claquage. Il s'agit aussi de s'assurer que le liquide ne présente aucune bulle visible.

8.2 Facteur de dissipation diélectrique, permittivité et résistivité en courant continu

Le facteur de dissipation diélectrique (DDF)², est une mesure des pertes diélectriques provoquées par le liquide. L'augmentation du DDF peut indiquer une contamination du liquide par l'humidité, par des particules ou des agents contaminants polaires solubles ou encore une qualité médiocre d'affinage. Le DDF doit être mesuré conformément à la CEI 60247 ou à la CEI 61620, à une température de 90 °C. En cas de désaccord, il convient de faire la mesure à 90 °C selon la CEI 60247.

8.3 Tendance au gassing

La tendance au gassing doit être mesurée conformément à la Méthode A de la CEI 60628:1985, mais la présente norme ne prévoit aucune exigence quant au résultat.

9 Spécifications relatives aux esters organiques de synthèse utilisés dans les transformateurs

Mesurées selon les méthodes spécifiées dans la présente norme, les propriétés du liquide neuf doivent être conformes aux exigences fournies par la feuille de spécification 1.

² DDF: en anglais, *Dielectric dissipation factor*

Feuille de spécification 1 –
Ester pour transformateur – Type T1

Ce type d'ester est préparé à partir d'un polyalcool et d'un mélange d'acides mono-carboxyliques et d'additifs stabilisants adaptés, nécessaires pour satisfaire aux propriétés citées ci-dessous.

Propriétés	Méthode d'essai	Valeurs admissibles
Physiques		
Couleur	ISO 2211	Max. 200 Hazen
Aspect	Visuel	Limpide, exempt d'eau, de matières en suspension et de sédiments
Masse volumique à 20 °C (kg/dm ³)	ISO 3675 ou ISO 12185	Max. 1 000
Viscosité cinématique à 40 °C (mm ² /s) à –20 °C (mm ² /s)	ISO 3104	Max. 35 Max. 3 000
Point d'éclair (°C)	ISO 2719	Min. 250
Point de feu (°C)	ISO 2592	Min. 300
Point d'écoulement (°C)	ISO 3016	Max. –45
Chimiques		
Teneur en eau (mg/kg)	CEI 60814	Max. 200 ^a
Acidité (mg KOH/g)	CEI 62021-1 ou CEI 62021- 2	Max. 0,03
Stabilité à l'oxydation ^b	CEI 61125, Méthode C	
Durée d'essai 164 h		
Acidité totale (mg KOH/g)		Max. 0,3
Boues totales (% masse)		Max. 0,01
Electriques		
Tension de claquage (kV)	CEI 60156	Min. 45 ^a (Voir article 8)
Facteur de dissipation diélectrique, tan δ à 90 °C et 50 Hz	CEI 60247 ou CEI 61620	Max. 0,03 ^{a, c}
Résistivité en c.c. à 90 °C (GΩ × m)	CEI 60247	Min. 2
^a Pour liquides non traités, tels que livrés. ^b L'essai de stabilité à l'oxydation (CEI 61125, Méthode C) à 500 h est facultatif. Aucune exigence ne figure dans la présente norme. ^c Pour les fréquences (f (Hz)) dans la plage comprise entre 48 Hz et 62 Hz, convertir les valeurs comme suit: $\tan \delta [f (50\text{Hz})] = \frac{f (Hz)}{50} \times \tan \delta [f (Hz)]$		

Annexe A (informative)

Détermination de la cristallisation

A.1 Remarque générale

Le fait de déterminer si des cristaux sont susceptibles de se former dans les esters organiques de synthèse pourrait constituer une exigence pour des essais de type.

A.2 Résumé de la méthode

Cette méthode décrit un mode opératoire permettant d'évaluer la tendance des esters organiques de synthèse à cristalliser, dans certaines conditions spécifiques.

A.3 Appareillage

L'appareillage consiste en

- a) un cristalliseur d'une capacité appropriée (150 ml à 250 ml),
- b) un réfrigérateur permettant de maintenir une température de $-25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.

A.4 Mode opératoire

La méthode à suivre est la suivante:

- a) Dans un cristalliseur, verser environ 100 ml de l'ester organique de synthèse soumis à l'essai.
- b) Maintenir pendant 16 h dans le réfrigérateur à $-25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ le cristalliseur contenant l'ester de synthèse soumis à l'essai.
- c) A la fin de la période d'essai, examiner visuellement l'échantillon de liquide, afin d'y déceler la présence de cristaux.

Annexe B (informative)

Spécifications relatives aux esters organiques de synthèses utilisés dans les condensateurs

La présente spécification relative aux esters organiques de synthèse utilisés dans les condensateurs est fondée sur la version antérieure de la présente norme, et ne figure ici qu'à titre d'information.

Mesurées selon les méthodes spécifiées dans la présente norme, les propriétés des esters organiques de synthèse neufs doivent être conformes aux exigences fournies par la feuille de spécification 2.

Feuille de spécification 2 –

Ester pour condensateur – Type C1

Ce type d'ester est généralement entièrement constitué d'orthophtalate de di-2-ethylhexyl.

Propriétés	Méthode d'essai	Valeurs admissibles
Physiques		
– Couleur	ISO 2211	Max. 200
– Aspect	Visuel	Limpide, exempt de matières en suspension et de sédiments
– Masse volumique à 20 °C (kg/dm ³)	ISO 3675 ou ISO 12185	Max. 0,990
– Viscosité à 40 °C (mm ² /s)	ISO 3104	Max. 30
– Point d'éclair (°C)	ISO 2719	Min. 190
– Point de feu (°C)	ISO 2592	Min. 220
– Point d'écoulement (°C)	ISO 3016	Max. –39
Chimiques		
– Teneur en eau (mg/kg)	CEI 60814	Max. 200 ^a
– Indice de neutralisation (mg KOH/g)	CEI 62021- 1 ou CEI 62021- 2	Max. 0,03
Electriques		
– Tension de claquage (kV)	CEI 60156	Min. 50 ^a
– Facteur de dissipation diélectrique, tan δ à 90 °C et 50 Hz	CEI 60247 or CEI 61620	Max. 0,03 ^{a, b}
– Permittivité à 90 °C et 50 Hz	CEI 60247	4,2 à 4,4
^a Pour liquides non traités, tels que livrés. ^b Pour les fréquences (f (Hz)) dans la plage comprise entre 48 Hz et 62 Hz, convertir les valeurs comme suit: $\tan \delta [f (50 \text{ Hz})] = \frac{f (\text{Hz})}{50} \times \tan \delta [f (\text{Hz})]$		

Bibliographie

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

ISO 5661, *Produits pétroliers – Hydrocarbures liquides – Détermination de l'indice de réfraction*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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