

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fluids for electrotechnical applications – Unused natural esters for transformers and similar electrical equipment

Fluides pour applications électrotechniques – Esters naturels neufs pour transformateurs et matériels électriques analogues

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62770:2024



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2024 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews, graphical symbols and the glossary. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fluids for electrotechnical applications – Unused natural esters for transformers and similar electrical equipment

Fluides pour applications électrotechniques – Esters naturels neufs pour transformateurs et matériels électriques analogues

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.040.01

ISBN 978-2-8322-9528-1

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions and abbreviated terms	8
3.1 Terms and definitions.....	8
3.2 Abbreviated terms.....	9
4 Properties, their significance and test methods.....	9
4.1 General.....	9
4.2 Physical properties	9
4.2.1 Appearance and colour.....	9
4.2.2 Viscosity.....	10
4.2.3 Pour point.....	10
4.2.4 Water content.....	10
4.2.5 Density	10
4.3 Electrical properties	11
4.3.1 Breakdown voltage	11
4.3.2 Dielectric dissipation factor (DDF)	11
4.3.3 Relative permittivity (dielectric constant).....	11
4.4 Chemical properties	11
4.4.1 Acidity	11
4.4.2 Corrosive sulfur	11
4.4.3 Additive content.....	11
4.4.4 Furfural content	12
4.5 Performance	12
4.5.1 General	12
4.5.2 Oxidation stability	12
4.6 Health, safety and environmental (HSE) properties	12
4.6.1 Fire point and flash point	12
4.6.2 Polychlorinated biphenyls (PCBs).....	12
4.6.3 Biodegradation	13
4.6.4 Aquatic toxicity	13
5 Classification, identification, general delivery requirements, and sampling.....	13
5.1 Classification	13
5.2 Identification and general delivery requirements	13
5.3 Sampling.....	13
Annex A (normative) Summary of the test method for evaluating oxidation stability of unused natural esters	15
A.1 General.....	15
A.2 Test conditions	15
A.3 Precision.....	15
A.4 Relative repeatability (<i>r</i>).....	15
A.5 Relative reproducibility (<i>R</i>)	15
Bibliography.....	16

Table 1 – Abbreviated terms	9
Table 2 – General specifications	14
Table A.1 – Relative repeatability and relative reproducibility obtained for different parameters during RRT	15

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62770:2024

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**FLUIDS FOR ELECTROTECHNICAL APPLICATIONS –
UNUSED NATURAL ESTERS FOR TRANSFORMERS
AND SIMILAR ELECTRICAL EQUIPMENT**

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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62770 has been prepared by IEC technical committee 10: Fluids for electrotechnical applications. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2013. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) Introduction of IEC 63012 which details other liquids not covered by this document. IEC 63012 was published in 2019 after the first edition of IEC 62770 (2013).
- b) New Table 1 inserted which clarifies definitions.
- c) Appearance and colour requirements now merged.

- d) Pour point: Introduction of the importance of LCSET with advice on cold temperature behaviour of natural esters.
- e) Additives: new agreed wording inserted on the declaration of additives
- f) Flash and fire points: now only determined by Cleveland Open Cup method, since the Pensky-Martens closed cup method was identified as problematic with natural esters.
- g) Toxicity: Aquatic toxicity now emphasized.
- h) Annex B removed as it is no longer needed since the publication of IEC 63012.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
10/1215/FDIS	10/1243/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

INTRODUCTION

Because of their higher fire points and lower environmental impact relative to hydrocarbon petroleum derived insulating mineral oil, the use of vegetable oils and other natural esters is on the rise as insulating and heat transfer fluids in electrical devices such as transformers.

This document sets performance criteria for unused natural esters earmarked for electrical applications. However, the use of natural esters is recommended only for equipment that is not open to the atmosphere, for example sealed transformers and reactors because these liquids are susceptible to oxidation.

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

Unused natural esters which are the subject of this document should be handled with due regard to personal hygiene. Direct contact with eyes should be avoided. In case of eye contact, irrigation with copious amounts of clean running water should be carried out and medical advice sought.

Performance of some of the tests mentioned in this document could lead to a hazardous situation. Attention is drawn to the relevant document test method for guidance.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62770:2024

FLUIDS FOR ELECTROTECHNICAL APPLICATIONS – UNUSED NATURAL ESTERS FOR TRANSFORMERS AND SIMILAR ELECTRICAL EQUIPMENT

1 Scope

This document describes specifications and test methods for unused natural esters in transformers and similar liquid-immersed electrical equipment in which a liquid is required as an insulating and heat transfer medium. The exposure of natural ester to air leads to deterioration of the insulating liquid. Use of natural esters is therefore restricted to sealed units, or with the conservator tank protected from the contact with atmosphere by a membrane or other suitable system.

In this document the term "natural esters" applies to insulating liquids for transformers and similar electrical equipment with suitable biodegradability and lower environmental impact. Such natural esters are vegetable oils obtained from seeds, and oils obtained from other suitable biological materials. These oils are comprised of triglycerides.

Natural esters with additives are within the scope of this document. Because of their different chemical composition, natural esters differ from insulating mineral oils and other insulating liquids that have high fire points, such as synthetic esters or silicone fluids.

Natural ester-derived insulating liquids with low viscosity have been introduced but are not covered by this document. IEC 63012 covers these liquids.

This document is applicable only to unused natural esters. Reclaimed natural esters and natural esters blended with other insulating liquids are beyond the scope of this document.

NOTE The chemical nomenclature and scientific notations used in the document are in accordance with the IUPAC handbook (Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry).

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 insulating liquids*

IEC 60666, *Detection and determination of specific additives in mineral insulating oils*

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

IEC 61125, *Insulating liquids – Test methods for oxidation stability – Test method for evaluating the oxidation stability of insulating liquids in the delivered state*

IEC 61198, *Mineral insulating oils – Methods for the determination of 2-furfural and related compounds*

IEC 61619, *Insulating liquids – Contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs) – Method of determination by capillary column gas chromatography*

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

IEC 62021-3, *Insulating liquids – Determination of acidity – Part 3: Test methods for non-mineral insulating oils*

IEC 62535, *Insulating liquids – Test method for detection of potentially corrosive sulphur in used and unused insulating oil*

IEC 62697-1, *Test methods for quantitative determination of corrosive sulfur compounds in unused and used insulating liquids – Part 1: Test method for quantitative determination of dibenzyl disulfide (DBDS)*

ISO 2049, *Petroleum products – Determination of colour (ASTM scale)*

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

ISO 3016, *Petroleum and related products from natural or synthetic sources – Determination of pour point*

ISO 3104, *Petroleum products – Transparent and opaque fluids – 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*

ASTM D1500, *Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale)*

ASTM D7042, *Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer (and the Calculation of Kinematic Viscosity)*

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminology databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

3.1.1**additives**

chemical substances which are deliberately added to natural ester insulating liquids in order to improve certain characteristics

3.1.2**natural esters**

vegetable oils obtained from seeds and oils obtained from other suitable biological materials and comprised of triglycerides

3.1.3**unused natural esters**

natural esters as delivered by the supplier

Note 1 to entry: Such a liquid has not been used in, nor been in contact with, electrical equipment or other equipment not required for its manufacture, storage or transport.

3.2 Abbreviated terms

The abbreviated terms are given in Table 1.

Table 1 – Abbreviated terms

Abbreviated term	Full term
DBDS	Dibenzyl disulphide
DDF	Dielectric dissipation factor
HSE	Health, safety and environment
IBC	Intermediate bulk container
LCSET	Lowest cold start energizing temperature
PCBs	Polychlorinated biphenyls
RRT	Round robin test

4 Properties, their significance and test methods**4.1 General**

Required characteristics of unused natural esters are listed in Table 2.

NOTE 1 Additional information on natural esters for transformers and similar electrical equipment is available in CIGRE brochure 436 and IEEE C57.147-2018TM.

NOTE 2 In natural ester at normal operating temperatures, a significant formation of stray gases such as hydrogen and ethane is sometimes witnessed for a specific period (weeks to months) after the transformer is activated. Such unexpected gas formation at low temperature can lead to confusion in the dissolved gas analyses interpretation. Natural esters show a higher tendency towards stray gassing.

4.2 Physical properties**4.2.1 Appearance and colour**

A visual inspection of unused natural esters (with light transmitted through a glass transparent beaker of approximately 10 cm thickness at ambient temperature) will indicate the presence of visible contaminants, free water and suspended matter.

The colour of an insulating liquid is determined in transmitted light, and is expressed by a numerical value based on comparison with a series of colour standards. Colour shall be measured following ISO 2049 (reference method) or ASTM D1500.

4.2.2 Viscosity

Viscosity influences heat transfer and therefore affects temperature distribution in the transformer and other equipment. The lower the viscosity, the easier the liquid circulates, generally leading to better heat transfer. Viscosities at lower temperatures are a critical factor for the cold start of transformers with K class liquid insulation with natural (not forced/pumped) flow (the absence of circulation can lead to possible overheating at hot spots). It can have a negative impact on the speed of moving parts, such as on-load tap changer mechanisms, pumps and regulators. Due consideration should be given to viscosity at the lowest cold start energizing temperature (LCSET). Viscosity at 40 °C and 100 °C shall be measured according to ISO 3104 (referee method) or ASTM D7042

4.2.3 Pour point

The pour point of liquids is the lowest temperature at which the liquid will flow. The pour point shall be measured in accordance with ISO 3016.

Longer dwell times (weeks or months) below 0 °C can lead to an increase of the pour point, or, alternatively, to an increase of viscosity of the liquid in comparison to the original state (the so-called "cold-and-hold behaviour"). It depends on the individual molecular structure and formulation and the time the liquid is exposed to the low temperature. While natural ester liquids show pour points in the region of -15 °C to -31 °C, it has been noticed that they can show a tendency to precipitate ester crystals if held for extended periods at temperatures slightly above the pour point. These crystals will re-melt back into the bulk ester liquid with no side effects once the mixture has been warmed up, but this can take time. For references see the bibliography.

Precautions shall be taken if the electrical equipment is to be left or stored at continuously low temperatures below 0 °C. The possible partial crystallization can result in an unforeseeable and undetermined increase in viscosity, which can adversely affect the mechanical, thermal, and dielectric behaviour of the device immersed in natural ester liquid.

An acknowledged method to measure the effect of crystallization behaviour is not available at present. As a substitute, additional viscosity measurement at low temperatures according to IEC 61868 is recommended, using standing times of 24 h, 72 h and 168 h. The lowest cold start energizing temperature (LCSET) is the temperature which, after a defined holding time, leads to a viscosity equal to or lower than the maximum admissible viscosity needed for the proper function of the equipment. During the normal operation of the equipment, no crystals shall be present in the liquid.

Tap-changers: It is common practice that, before energizing, the on-load tap-changer (if present) is operated to reach a position where the transformer can be energized without carrying an abnormally large load. It can happen that the spring-operated diverter switch cannot complete its operation if the natural ester liquid is partially crystalized. Such situation shall be avoided in any case.

4.2.4 Water content

Water content of natural esters affects their dielectric properties. Water content shall be measured in accordance with IEC 60814.

NOTE 1 Due to the moderately polar nature of natural esters, water content at which free water will appear and cause deterioration of electric strength is significantly higher in natural esters than that in mineral insulating oils.

NOTE 2 The terms "water" and "moisture" are the same in this document.

4.2.5 Density

Density of natural esters shall be measured in accordance with ISO 12185 (reference method), but ISO 3675 or ASTM D7042 are also acceptable.

4.3 Electrical properties

4.3.1 Breakdown voltage

Breakdown voltage of unused natural esters shall be measured in accordance with IEC 60156.

4.3.2 Dielectric dissipation factor (DDF)

DDF is a measure for dielectric losses caused by the liquid. High DDF can indicate contamination of the liquid with moisture, particles, soluble polar contaminants, or poor refining quality. DDF shall be measured in accordance with IEC 60247 at 90 °C.

By agreement between parties, DDF can be measured at temperatures other than 90 °C. In such cases the measurement temperature shall be stated in the report.

4.3.3 Relative permittivity (dielectric constant)

Relative permittivity is the ratio of the amount of electrical energy stored in the liquid at an applied voltage, relative to that stored in a vacuum. It shall be measured in accordance with IEC 60247 or IEC 61620 at 90 °C. In case of dispute, IEC 60247 (reference method) at 90 °C shall be used.

NOTE A typical value is between 2,8 and 3,3.

4.4 Chemical properties

4.4.1 Acidity

Unused natural esters should be near neutral; acidity shall be measured in accordance with IEC 62021-3.

NOTE Natural esters can contain very low concentrations of free fatty acids; presence of free fatty acids can affect the acidity of natural esters. This is reflected in the values given in Table 2.

4.4.2 Corrosive sulfur

Corrosive sulfur and potentially corrosive compounds shall be detected by contacting copper with insulating liquid under the standardized conditions specified in IEC 62535. Known corrosive sulfur compounds such as dibenzyl disulphide (DBDS) shall not be present above the detection limit given in IEC 62697-1.

NOTE Corrosive sulfur compounds are not naturally present in vegetable oils or other natural esters. The tests given in IEC 62535 can verify that any additives used are non-corrosive and that cross-contamination with a potentially corrosive liquid has not occurred.

4.4.3 Additive content

Additives include antioxidants, metal deactivators, pour point depressants, dyes, etc. An antioxidant additive slows down the oxidation of esters and, in turn, the formation of gels and acidity. Detection and measurement of defined anti-oxidant additives shall be in accordance with IEC 60666 or other suitable methods. Total concentration of additives shall be less than a weight fraction of 5 %.

The chemical family and function of all additives and maximum concentration of each family shall be declared in product data sheets and certificates of compliance.

NOTE Example of additives are DBPC = 2,6-di-tert-butyl-para-cresol (also known as BHT); DBP = 2,6-di-tert-butyl-phenol, Irganox®109, Irganox® 1010, Irgamet® 39, Irgamet®30¹, methacrylate.

4.4.4 Furfural content

Furanic compounds, including 2-Furfural, are degradation products of kraft insulating paper; such compounds are not typically present in unused natural esters. Furfural compounds shall be determined via an adapted procedure for ester after revision of IEC 61198.

4.5 Performance

4.5.1 General

This concerns the properties that are related to the long-term behaviour of natural ester insulating liquids in service or their reaction to high electric stress and temperature, or both. Acceptable operating temperatures for transformers filled with natural esters are suggested in IEC 60076-14.

4.5.2 Oxidation stability

4.5.2.1 General

Unused natural ester liquids are recommended for application only in equipment that is not open to atmosphere because these liquids are prone to oxidation. Oxidation stability of natural esters shall be tested in accordance with IEC 61125 with a test duration of 48 h. The acceptable final limits are indicated in Table 2. See Annex A.

4.5.2.2 Total acidity

Total acidity is the sum of volatile and soluble acidity of natural esters subjected to the oxidation stability test as specified in IEC 61125.

4.5.2.3 Viscosity

Viscosity of natural esters subjected to the oxidation stability test shall be measured at 40 °C in accordance with ISO 3104 (reference method) or ASTM D7042.

4.5.2.4 Dielectric dissipation factor (DDF)

DDF measurements after the oxidation stability test provide a measure for dielectric losses resulting from the water and soluble polar compounds formed in a dielectric liquid as a result of oxidation. DDF shall be measured in accordance with IEC 60247.

4.6 Health, safety and environmental (HSE) properties

4.6.1 Fire point and flash point

The safe operation of electrical equipment requires an adequately high flash and fire points that shall be measured in accordance with ISO 2592 (reference method) or ASTM D92.

4.6.2 Polychlorinated biphenyls (PCBs)

Unused natural esters shall be free from PCBs.

The reference test method that shall be used for these materials is as specified in IEC 61619.

¹ Irganox®109, Irganox® 1010, Irgamet® 39, Irgamet®30 are the trade names of products supplied by BASF. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of the product named. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

The test method has been developed for mineral oil. Using it for esters could require modification.

NOTE 1 PCBs and related compounds can be present in unused natural esters only because of cross-contamination.

NOTE 2 Acceptable limits of total or individual PCBs are specified in national or local regulations. European specifications are described in Directive 96/59/EC and UN guideline for the identification of PCBs and materials containing PCBs.

4.6.3 Biodegradation

Natural ester insulating liquids exhibit lower environmental impact relative to most mineral insulating liquids. Specific tests need to be undertaken to demonstrate ready biodegradability of these liquids. Tests include OECD 301B, C or F. These tests are based on natural materials (inoculum) and hence have a certain variability. Biodegradation tests are defined in IEC 61039.

4.6.4 Aquatic toxicity

Unused natural ester liquids are generally considered non-toxic to aquatic life in the case of accidental release. Suppliers shall supply assays that define the product as non-toxic.

National regulations dealing with the impact on the environment of the disposal of natural esters, chemicals and sample containers mentioned in this document can apply. Every precaution should be taken to prevent the release of natural esters into the environment.

NOTE Aquatic toxicity of natural esters can be assessed using test methods such as OECD 201-203.

5 Classification, identification, general delivery requirements, and sampling

5.1 Classification

Natural esters conforming to this document are classified in a single class:

- less flammable natural ester dielectric liquids.

NOTE Other ester insulating liquids not covered by this document or IEC 61099 are covered by IEC 63012.

5.2 Identification and general delivery requirements

- Natural esters are normally delivered in bulk, rail tank cars, tank containers, or packed in drums or intermediate bulk containers (IBCs). These shall be clean and suitable for this purpose in order to avoid any contamination.
- Liquid drums and sample containers shall carry the following markings:
 - supplier's designation;
 - classification; and
 - liquid net weight.
- Each natural ester delivery shall be accompanied by a document from the supplier specifying:
 - supplier's designation;
 - liquid classification; and
 - quality certificate.

5.3 Sampling

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

Table 2 – General specifications

Property	Test method	Limits
Physical		
Appearance		Clear, free from sediment and suspended matter
Colour	ISO 2049 (reference method), ASTM D1500	Max. 1,0
Viscosity at 100 °C	ISO 3104 (reference method) ASTM D7042	Max. 15 mm ² ·s ⁻¹
Viscosity at 40 °C	ISO 3104 (reference method) ASTM D7042	Max. 50 mm ² ·s ⁻¹
Pour point	ISO 3016	Max. –10 °C
Water content	IEC 60814	Max. 200 mg·kg ⁻¹
Density at 20 °C	ISO 12185 (reference method) ISO 3675 or ASTM D7042	Max. 1 000 kg·m ⁻³
Electrical		
Breakdown voltage	IEC 60156	Min. 35 kV ^a
Dissipation factor (tan δ) 90 °C	IEC 61620 or IEC 60247 (reference method)	Max. 0,05
Chemical		
Acidity	IEC 62021-3	Max. 0,06 mg KOH g _{oil} ⁻¹
Corrosive sulfur	IEC 62535	Noncorrosive
DBDS	IEC 62697-1	Below detection limit
Total additives	IEC 60666 or other suitable methods	Max. weight fraction 5 %
Performance – Required properties after oxidation stability test in accordance with IEC 61125 ^b		
Total acidity	IEC 61125	Max. 0,6 mg KOH g _{oil} ⁻¹
Viscosity at 40 °C	ISO 3104 (reference method) ASTM D7042	Max. 30 % increase over the initial value
DDF (tan δ) at 90 °C	IEC 60247	Max. 0,5
Health, safety and environment (HSE)		
Fire point	ISO 2592 (reference method) ASTM D92	Min. 300 °C
Flash point	ISO 2592 (reference method) ASTM D92	Min. 250 °C
Biodegradation	US EPA, OECD 301 B, C or F	Readily biodegradable
^a At delivery. Expect >70 kV after lab treating, for example degassing and drying.		
^b See Annex A for details of oxidation stability parameters.		

Annex A (normative)

Summary of the test method for evaluating oxidation stability of unused natural esters

A.1 General

Oxidation stability of natural esters is evaluated under accelerated ageing conditions similar to those described in IEC 61125.

Aliquots of the natural esters samples are maintained at 120 °C in the presence of a solid copper catalyst, while a constant volume of air is bubbled through the samples for 48 h. The resistance to oxidation is estimated by measuring volatile acidity, soluble acidity, sludge formation, viscosity and DDF. The values obtained for these parameters after accelerated oxidation are compared against the values obtained prior to accelerated oxidation.

A.2 Test conditions

All test conditions, i.e. the amount of natural esters, length and diameter of copper catalyst, oxidation temperature and oxidant (air) flow rate are the same as described in IEC 61125. The only modification is in the duration for accelerated ageing, which is set at 48 h.

A.3 Precision

Precision values obtained during the round robin test (RRT) on commercially available natural esters after 48 h oxidation are given in Table A.1. Relative reproducibility for each parameter is based on results obtained from 11 participating laboratories. The values reported in Table A.1 are in general agreement with values reported for mineral insulating oils in IEC 61125.

A.4 Relative repeatability (r)

Duplicate determinations carried out by one laboratory at the 95 % confidence level.

A.5 Relative reproducibility (R)

Duplicate determinations carried out by different laboratories at the 95 % confidence level.

**Table A.1 – Relative repeatability and relative reproducibility
obtained for different parameters during RRT**

Parameter	r %	R %
Viscosity at 40 °C	5	7,5
Total acidity	13	38
Sludge	22	57
DDF (tan δ) at 90 °C	–	47

Bibliography

IEC 60050, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)* (available at www.electropedia.org)

IEC 60076-14, *Power transformers – Part 14: Liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials*

IEC 60296, *Fluids for electrotechnical applications – Mineral insulating oils for electrical equipment*

IEC 60422, *Mineral insulating oils in electrical equipment – Supervision and maintenance guidance*

IEC 61039, *Classification of insulating fluids*

IEC 61099, *Insulating liquids – Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes*

IEC 61868, *Mineral insulating oils – Determination of kinematic viscosity at very low temperatures*

IEC 62975:2021, *Natural esters – Guidelines for maintenance and use in electrical equipment*

IEC 63012, *Insulating liquids – Unused modified or blended esters for electrotechnical applications*

ASTM D6871, *Standard specification for natural (vegetable oil) ester fluids used in electrical apparatus*

CIGRE-296 2020 CIGRE Canada Conference Toronto, Ontario, October 19-22, 2020 “What it takes to design, manufacture and operate power transformers under arctic temperature conditions” Thomas Schneider Siemens Energy, Jinesh Malde M&I Materials Inc.

CIGRE Brochure 436, *Experiences in Service with New Insulating Liquids*. Working Group A2.35, October, 2010

Council Directive 96/59/EC of 16 September 1996 on the disposal of polychlorinated biphenyls and polychlorinated terphenyls (PCB/PCT)

IEEE C57.147-2018, *IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Natural Ester Insulating Liquid in Transformers*

International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) Handbook of terms and definitions

OECD 201-203, *Test Guidelines for ecotoxicity*

OECD 301, *Guideline for testing of chemicals adopted by European Council on July 17th 1992*

UN Guidelines for the Identification of PCBs and Materials Containing PCBs, 1999

US EPA, *Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances 835.311, Fate, Transport and Transformation Test Guidelines*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62770:2024

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	20
INTRODUCTION.....	22
1 Domaine d'application	23
2 Références normatives	23
3 Termes, définitions et abréviations	25
3.1 Termes et définitions	25
3.2 Abréviations.....	25
4 Propriétés, leur signification et méthodes d'essai	26
4.1 Généralités	26
4.2 Propriétés physiques	26
4.2.1 Apparence et couleur.....	26
4.2.2 Viscosité.....	26
4.2.3 Point d'écoulement	26
4.2.4 Teneur en eau	27
4.2.5 Masse volumique.....	27
4.3 Propriétés électriques	27
4.3.1 Tension de claquage	27
4.3.2 Facteur de dissipation diélectrique (FDD).....	27
4.3.3 Permittivité relative (constante diélectrique)	27
4.4 Propriétés chimiques	28
4.4.1 Acidité	28
4.4.2 Soufre corrosif.....	28
4.4.3 Teneur en additifs.....	28
4.4.4 Teneur en furfural.....	28
4.5 Performance	28
4.5.1 Généralités.....	28
4.5.2 Stabilité à l'oxydation.....	29
4.6 Propriétés liées à l'hygiène, à la sécurité et à l'environnement (HSE)	29
4.6.1 Point de feu et point d'éclair	29
4.6.2 Polychlorobiphényles (PCB)	29
4.6.3 Biodégradation	29
4.6.4 Toxicité aquatique	30
5 Classification, identification, exigences générales de livraison et échantillonnage	30
5.1 Classification	30
5.2 Identification et exigences générales de livraison.....	30
5.3 Échantillonnage	30
Annexe A (normative) Récapitulatif de la méthode d'essai utilisée pour l'évaluation de la stabilité à l'oxydation des esters naturels neufs.....	32
A.1 Généralités	32
A.2 Conditions d'essai.....	32
A.3 Précision.....	32
A.4 Répétabilité relative (r)	32
A.5 Reproductibilité relative (R).....	32
Bibliographie.....	33

Tableau 1 – Abréviations	25
Tableau 2 – Spécifications générales	31
Tableau A.1 – Répétabilité relative et reproductibilité relative obtenues pour différents paramètres durant les essais interlaboratoires	32

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62770:2024

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**FLUIDES POUR APPLICATIONS ÉLECTROTECHNIQUES –
ESTERS NATURELS NEUFS POUR TRANSFORMATEURS
ET MATÉRIELS ÉLECTRIQUES ANALOGUES**

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 62770 a été établie par le comité d'études 10 de l'IEC: Fluides pour applications électrotechniques. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2013. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) l'IEC 63012, qui décrit les autres liquides non couverts par le présent document, a été introduite. L'IEC 63012 a été publiée en 2019, après la première édition de l'IEC 62770 (2013);
- b) un nouveau Tableau 1, qui clarifie les définitions, a été inséré;
- c) les exigences relatives à l'apparence et la couleur sont désormais fusionnées;
- d) point d'écoulement: l'importance de la TMDP a été introduite, avec des conseils relatifs au comportement à basse température des esters naturels;
- e) additifs: une nouvelle formulation fixée par accord a été insérée dans la déclaration des additifs;
- f) points d'éclair et de feu: désormais uniquement déterminés par la méthode Cleveland à vase ouvert, la méthode Pensky-Martens en vase clos ayant été identifiée comme problématique avec les esters naturels;
- g) toxicité: la toxicité aquatique est désormais soulignée;
- h) l'Annexe B a été supprimée, dans la mesure où elle n'est plus nécessaire depuis la publication de l'IEC 63012.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
10/1215/FDIS	10/1243/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

INTRODUCTION

Du fait de leurs points de feu plus élevés et de leur impact moindre sur l'environnement par rapport à l'huile minérale isolante obtenue à partir des hydrocarbures pétroliers, l'utilisation des huiles végétales et d'autres esters naturels est en augmentation en tant que liquides isolants et fluides caloporteurs dans les appareils électriques tels que les transformateurs.

Le présent document établit des critères de performance pour les esters naturels neufs destinés aux applications électriques. Cependant, l'utilisation des esters naturels est recommandée uniquement pour les matériels sans contact avec l'air, par exemple les transformateurs et réacteurs scellés, car ces liquides sont susceptibles de s'oxyder.

Le présent document ne prétend pas couvrir tous les problèmes de sécurité liés à son utilisation. Il est de la responsabilité de l'utilisateur du présent document de mettre en place les pratiques d'hygiène et de sécurité adéquates et de déterminer avant utilisation si des contraintes réglementaires s'appliquent.

Il convient de manipuler les esters naturels neufs dont traite le présent document en respectant scrupuleusement l'hygiène personnelle. Il convient d'éviter tout contact direct avec les yeux. En cas de contact oculaire, il convient de laver les yeux abondamment à l'eau courante propre et de demander un avis médical.

Certains des essais mentionnés dans le présent document sont susceptibles d'entraîner une situation dangereuse. L'attention est attirée sur la méthode d'essai du document applicable à titre de recommandation.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62770:2024

FLUIDES POUR APPLICATIONS ÉLECTROTECHNIQUES – ESTERS NATURELS NEUFS POUR TRANSFORMATEURS ET MATÉRIELS ÉLECTRIQUES ANALOGUES

1 Domaine d'application

Le présent document décrit les spécifications et méthodes d'essai applicables aux esters naturels neufs dans les transformateurs et matériels électriques immergés dans du liquide analogues qui nécessitent un liquide en tant que milieu isolant et caloporteur. L'exposition de l'ester naturel à l'air entraîne une détérioration du liquide isolant. L'utilisation des esters naturels est donc limitée à des unités scellées, ou avec le conservateur protégé du contact atmosphérique par une membrane ou tout autre système approprié.

Dans le présent document, le terme "esters naturels" s'applique aux liquides isolants pour transformateurs et matériels électriques analogues qui présentent une biodégradabilité convenable et un impact moindre sur l'environnement. Ces esters naturels sont des huiles végétales obtenues à partir de graines et des huiles obtenues à partir d'autres matériaux biologiques appropriés. Ces huiles sont composées de triglycérides.

Les esters naturels avec additifs entrent dans le domaine d'application du présent document. En raison de leur composition chimique différente, les esters naturels se distinguent des huiles minérales isolantes et d'autres liquides isolants qui possèdent des points de feu élevés, tels que les esters synthétiques ou les fluides silicones.

Les liquides isolants obtenus à partir d'esters naturels qui présentent une faible viscosité ont été introduits, mais ne sont pas couverts par le présent document. L'IEC 63012 couvre ces liquides.

Le présent document ne s'applique qu'aux esters naturels neufs. Les esters naturels régénérés et les esters naturels mélangés à d'autres liquides isolants n'entrent pas dans le domaine d'application du présent document.

NOTE La nomenclature chimique et les notations scientifiques utilisées dans le présent document sont conformes au manuel de l'IUPAC (Grandeurs, unités et symboles de la chimie physique).

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

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

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

IEC 60475, *Méthode d'échantillonnage des liquides isolants*

IEC 60666, *Détection et dosage d'additifs spécifiques présents dans les huiles minérales isolantes*

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

IEC 61125, *Isolants liquides – Méthodes d'essai de la stabilité à l'oxydation – Méthode d'essai pour évaluer la stabilité à l'oxydation des isolants liquides tels que livrés*

IEC 61198, *Huiles minérales isolantes – Méthodes pour la détermination du 2-furfural et ses dérivés*

IEC 61619, *Isolants liquides – Contamination par les polychlorobiphényles (PCB) – Méthode de détermination par chromatographie en phase gazeuse sur colonne capillaire*

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

IEC 62021-3, *Liquides isolants – Détermination de l'acidité – Partie 3: Méthodes d'essai pour les huiles non minérales isolantes*

IEC 62535, *Liquides isolants – Méthode d'essai pour la détection du soufre potentiellement corrosif dans les huiles usagées et neuves*

IEC 62697-1, *Méthodes d'essai pour la détermination quantitative des composés de soufre corrosif dans les liquides isolants usagés et neufs – Partie 1: Méthode d'essai pour la détermination quantitative du disulfure de dibenzyle (DBDS)*

ISO 2049, *Produits pétroliers – Détermination de la couleur (échelle ASTM)*

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

ISO 3016, *Produits pétroliers et connexes d'origine naturelle ou synthétique – 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*

ASTM D1500, *Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale)*

ASTM D7042, *Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer (and the Calculation of Kinematic Viscosity)*

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1.1

additifs

substances chimiques, volontairement ajoutées à des liquides isolants à base d'esters naturels pour en améliorer certaines propriétés

3.1.2

esters naturels

huiles végétales obtenues à partir de graines et huiles obtenues à partir d'autres matériaux biologiques appropriés et composées de triglycérides

3.1.3

esters naturels neufs

esters naturels tels que livrés par le fournisseur

Note 1 à l'article: Un tel liquide n'a été ni utilisé dans des matériels électriques ni mis à leur contact ou au contact de tout autre matériel non nécessaire à sa fabrication, son stockage ou son transport.

3.2 Abréviations

Les abréviations sont données dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Abréviations

Abréviation	Terme développé
DBDS	Dibenzyl disulphide (disulfure de dibenzyle)
FDD	Facteur de dissipation diélectrique
HSE	Hygiène, sécurité et environnement
GRV	Grand récipient pour vrac
TMDP	Température minimale de démarrage en puissance
PCB	Polychlorobiphényles
RRT	Round robin test (essai comparatif interlaboratoires)

4 Propriétés, leur signification et méthodes d'essai

4.1 Généralités

Les caractéristiques exigées des esters naturels neufs sont répertoriées dans le Tableau 2.

NOTE 1 Des informations supplémentaires concernant les esters naturels pour les transformateurs et matériels électriques analogues sont disponibles dans la brochure 436 du CIGRE et dans l'IEEE C57.147-2018TM.

NOTE 2 Dans les esters naturels à des températures de fonctionnement normales, une formation importante de gaz isolés, tels que l'hydrogène et l'éthane, est parfois observée pendant une durée spécifiée (quelques semaines à quelques mois) après l'activation du transformateur. Cette formation inattendue de gaz à basse température peut entraîner une confusion dans l'interprétation des analyses des gaz dissous. Les esters naturels présentent une plus forte tendance au dégagement de gaz isolés.

4.2 Propriétés physiques

4.2.1 Apparence et couleur

Un examen visuel des esters naturels neufs (par lumière transmise à travers un bēcher transparent en verre d'environ 10 cm d'épaisseur rempli à température ambiante) révèle la présence de contaminants visibles, d'eau libre et de matières en suspension.

La couleur d'un liquide isolant est déterminée en lumière transmise et est exprimée par un nombre obtenu par comparaison à une série de couleurs normalisées. La couleur doit être mesurée selon l'ISO 2049 (méthode de référence) ou l'ASTM D1500.

4.2.2 Viscosité

La viscosité influe sur le transfert de chaleur et, par conséquent, altère la répartition de la température dans le transformateur et d'autres matériels. Plus la viscosité est faible, mieux le liquide circule et donc améliore généralement le transfert de chaleur. La viscosité à des températures plus basses constitue un facteur déterminant lors du démarrage à froid des transformateurs à isolation liquide de classe K et à écoulement naturel (non forcé/pompé; l'absence de circulation peut entraîner une éventuelle surchauffe des points chauds). Elle peut avoir une influence négative sur la vitesse des pièces mobiles telles que celles des changeurs de prises en charge, des pompes et des régulateurs. Il convient de prendre en compte la viscosité à la température minimale de démarrage en puissance (TMDP). La viscosité à 40 °C et 100 °C doit être mesurée conformément à l'ISO 3104 (méthode de référence) ou à l'ASTM D7042.

4.2.3 Point d'écoulement

Le point d'écoulement des liquides est la température la plus basse à laquelle le liquide s'écoule. Le point d'écoulement doit être mesuré selon l'ISO 3016.

Des temps de séjour plus longs (semaines ou mois) au-dessous de 0 °C peuvent entraîner une augmentation du point d'écoulement ou, en variante, une augmentation de la viscosité du liquide par rapport à l'état d'origine (appelé "comportement de maintien au froid"). Cela dépend de chaque structure et formulation moléculaire et du temps pendant lequel le liquide est exposé à la basse température. Alors que les liquides à base d'esters naturels présentent un point d'écoulement compris entre -15 °C et -31 °C, une tendance à précipiter des cristaux d'esters peut être observée s'ils sont conservés pendant de longues périodes à des températures légèrement supérieures au point d'écoulement. Ces cristaux se dissolvent à nouveau dans le liquide d'ester sans effets secondaires dès lors que le mélange est réchauffé, mais cela peut prendre du temps. Voir les références dans la bibliographie.

Des précautions doivent être prises si le matériel électrique doit être exposé ou stocké à des températures continuellement basses, inférieures à 0 °C. La cristallisation partielle éventuelle peut entraîner une augmentation imprévisible et indéterminée de la viscosité, ce qui peut altérer le comportement mécanique, thermique et diélectrique de l'appareil immergé dans le liquide d'ester naturel.

Aucune méthode reconnue n'est disponible actuellement pour mesurer l'effet du comportement de cristallisation. En remplacement, un mesurage supplémentaire de la viscosité à basse température selon l'IEC 61868 est recommandé, en utilisant des temps de repos de 24 h, 72 h et 168 h. La température minimale de démarrage en puissance (TMDP) est la température qui, après un temps de maintien défini, conduit à une viscosité inférieure ou égale à la viscosité maximale admissible qui est nécessaire au bon fonctionnement du matériel. Pendant le fonctionnement normal du matériel, le liquide doit être exempt de cristaux.

Changeurs de prises: il est courant, avant la mise sous tension, d'actionner le changeur de prises (le cas échéant) pour atteindre une position où le transformateur peut être mis sous tension sans supporter une charge anormalement élevée. Il peut arriver que le commutateur à ressort ne puisse pas terminer son opération si le liquide d'ester naturel est partiellement cristallisé. Une telle situation doit être évitée dans tous les cas.

4.2.4 Teneur en eau

La teneur en eau des esters naturels influence leurs propriétés diélectriques. La teneur en eau doit être mesurée selon l'IEC 60814.

NOTE 1 En raison de la nature modérément polaire des esters naturels, la teneur en eau à laquelle apparaît l'eau libre, entraînant une détérioration de la rigidité diélectrique, est sensiblement plus élevée dans les esters naturels que dans les huiles minérales isolantes.

NOTE 2 Les termes "eau" et "humidité" sont équivalents dans le présent document.

4.2.5 Masse volumique

La masse volumique des esters naturels doit être mesurée selon l'ISO 12185 (méthode de référence), mais l'ISO 3675 ou l'ASTM D7042 sont également acceptables.

4.3 Propriétés électriques

4.3.1 Tension de claquage

La tension de claquage des esters naturels neufs doit être mesurée selon l'IEC 60156.

4.3.2 Facteur de dissipation diélectrique (FDD)

Le FDD est une mesure des pertes diélectriques provoquées par le liquide. Des valeurs de FDD élevées peuvent indiquer la contamination du liquide par de l'humidité, des particules, des contaminants polaires solubles, ou une qualité de raffinage médiocre. Le FDD doit être mesuré selon l'IEC 60247 à 90 °C.

Par accord entre les parties prenantes, le FDD peut être mesuré à des températures autres que 90 °C. Dans de tels cas, la température de mesure doit être mentionnée dans le rapport.

4.3.3 Permittivité relative (constante diélectrique)

La permittivité relative est le rapport de la quantité d'énergie électrique accumulée dans le liquide à une tension appliquée, sur la quantité d'énergie accumulée dans un vide. Elle doit être mesurée selon l'IEC 60247 ou l'IEC 61620 à 90 °C. En cas de désaccord, l'IEC 60247 (méthode de référence) à 90 °C doit être utilisée.

NOTE Une valeur type est comprise entre 2,8 et 3,3.

4.4 Propriétés chimiques

4.4.1 Acidité

Il convient que les esters naturels neufs soient pratiquement neutres; l'acidité doit être mesurée selon l'IEC 62021-3.

NOTE Les esters naturels peuvent contenir de très faibles concentrations d'acides gras libres; la présence d'acides gras libres peut avoir une influence sur l'acidité des esters naturels. Cela se reflète dans les valeurs indiquées dans le Tableau 2.

4.4.2 Soufre corrosif

Le soufre corrosif et les composés potentiellement corrosifs doivent être détectés par une mise en contact du cuivre avec le liquide isolant dans les conditions normalisées spécifiées dans l'IEC 62535. Les composés soufrés corrosifs connus tels que le disulfure de dibenzyle (DBDS) ne doivent pas être présents au-dessus de la limite de détection indiquée dans l'IEC 62697-1.

NOTE Les composés soufrés corrosifs ne sont pas naturellement présents dans les huiles végétales ou d'autres esters naturels. Les essais indiqués dans l'IEC 62535 peuvent permettre de vérifier que tous les additifs utilisés ne sont pas corrosifs et qu'aucune contamination croisée avec un liquide potentiellement corrosif ne s'est produite.

4.4.3 Teneur en additifs

Les additifs incluent les antioxydants, les désactiveurs de métaux, les abaisseurs de point d'écoulement, les colorants, etc. Un additif antioxydant ralentit l'oxydation des esters et donc la formation de gels et d'acidité. La détection et le mesurage d'additifs antioxydants définis doivent être réalisés selon l'IEC 60666 ou d'autres méthodes appropriées. La concentration totale d'additifs doit être inférieure à une fraction massique de 5 %.

La famille chimique et la fonction de tous les additifs ainsi que la concentration maximale de chaque famille doivent être déclarées dans les fiches de données produits et les certificats de conformité.

NOTE Exemples d'additifs: DBPC = 2,6-di-tert-butyl-paracrésol (également appelé BHT); DBP = 2,6-di-tert-butylphénol, Irganox®109, Irganox® 1010, Irgamet® 39, Irgamet®30¹, méthacrylate.

4.4.4 Teneur en furfural

Les composés furaniques, y compris le 2-Furfural, sont des produits de dégradation du papier kraft isolant; ces composés ne sont généralement pas présents dans les esters naturels neufs. Les composés furaniques doivent être déterminés selon une procédure adaptée pour les esters après révision de l'IEC 61198.

4.5 Performance

4.5.1 Généralités

Il s'agit des propriétés liées au comportement à long terme des liquides isolants à base d'esters naturels en service ou de leur tenue sous contrainte électrique et température élevées, ou des deux. Des températures de fonctionnement acceptables pour les transformateurs remplis d'esters naturels sont proposées dans l'IEC 60076-14.

¹ Irganox®109, Irganox® 1010, Irgamet® 39, Irgamet®30 sont les appellations commerciales de produits distribués par BASF. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que l'IEC approuve l'emploi du produit ainsi désigné. Des produits équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils aboutissent aux mêmes résultats.