

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Test methods for compatibility of construction materials with electrical insulating liquids

Méthodes d'essai pour évaluer la compatibilité des matériaux de construction avec les isolants électriques liquides

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63177:2024



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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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

Test methods for compatibility of construction materials with electrical insulating liquids

Méthodes d'essai pour évaluer la compatibilité des matériaux de construction avec les isolants électriques liquides

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.040.01, 29.080.99

ISBN 978-2-8322-8719-4

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

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 General information	10
5 Sampling and preparation.....	10
5.1 Test specimens – Solid materials.....	10
5.2 Pre-treatment.....	11
5.3 Test liquids	11
5.3.1 General	11
5.3.2 Liquids applied in transformers and tap-changers	12
5.3.3 Liquids applied in capacitors.....	12
5.3.4 Liquids applied in liquid-cooled rotating machines	12
6 Procedure.....	13
6.1 General.....	13
6.2 Conditioning procedure for liquid-immersed transformers and tap-changers.....	13
6.3 Conditioning procedure for liquid-impregnated capacitors	13
6.4 Conditioning procedure for liquid-cooled rotating machines.....	13
6.5 Test procedure.....	14
7 Report	16
Annex A (informative) Example for a compatibility testing of a NBR O-ring under mineral oil for transformer application	17
A.1 General.....	17
A.2 Test items and standards.....	17
Bibliography.....	18
Table 1 – Limit values of water content and breakdown voltage for transformer insulating liquids after pre-conditioning	12
Table 2 – Required properties of insulating liquids for transformers and tap-changers	14
Table 3 – Required properties of capacitor fluids	14
Table 4 – Required properties of e-transmission fluids for rotating machines	15
Table 5 – Examples for test of impregnating resins, multi-component materials	15
Table 6 – Examples for test of enamelled wire	15
Table 7 – Examples for test of gasket materials	15
Table A.1 – Tests of a NBR O-ring under delivery conditions	17
Table A.2 – Tests on the O-ring after storage mineral oil	17
Table A.3 – Tests on the mineral oil after storage with the O-ring	17

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TEST METHODS FOR COMPATIBILITY OF CONSTRUCTION
MATERIALS WITH ELECTRICAL INSULATING LIQUIDS****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) 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 63177 has been prepared by IEC technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
112/630/FDIS	112/640/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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63177:2024

INTRODUCTION

The objective of the document is to clarify the evaluation methodology for the compatibility between construction materials and electrical insulating liquids. It provides recommendations for manufacturers of liquid-immersed transformers and tap-changers, liquid-impregnated capacitors, and liquid-cooled rotating machines used in electrical vehicles and oil pumps. The recommendations focus on screening appropriate construction materials ensuring compatibility between solid and liquid materials for use with different liquids under varying operating conditions. Additionally, the document contains tests that should be carried out on liquids and construction materials. These tests occur after a conditioning procedure at the desired temperature and for reference samples.

In the past, limited construction materials and liquids based on mineral oil served the industry needs. Since the industry needs have been advanced with new applications and driven by higher flash points and improved reliability of performance for liquid-filled electrical equipment, it is necessary to be able to evaluate high temperature electrical insulation systems, using silicone oils, synthetic esters, natural esters, and other potential suitable insulating liquids.

At the same time, liquid-cooled rotating machines used in electrical vehicles and oil pumps also increase the possibility for construction materials to be exposed to different liquids, driven by better thermal conductive performance. To avoid mechanical, electrical, and sealing failure for construction materials, such as gasket materials, impregnating resins, prefabricates, etc., the test methods described in this document can be applied for different liquid-immersed electrical equipment, including liquid-immersed transformers and tap-changers, liquid-impregnated capacitors and liquid-cooled rotating machines used in electrical vehicles and oil pumps.

The evaluation process specified in this document focuses on the chemical compatibility between construction materials and liquids, but does not provide a long-term thermal or aging evaluation. In addition, threshold values for functional parameters of each material are not specified, as they depend on the requirements of the specific application.

Clause 1 to Clause 5 contain definitions and describe the preparation of suitable solid and liquid test samples.

Clause 6 describes the test procedure (e.g. temperatures, test duration and cycles) and lists the characteristic parameters to be evaluated. This allows an estimate of the basic compatibility of typical construction materials with insulating liquids.

An application example is given in Annex A.

TEST METHODS FOR COMPATIBILITY OF CONSTRUCTION MATERIALS WITH ELECTRICAL INSULATING LIQUIDS

1 Scope

This document specifies the test method for the compatibility of construction materials with electrical insulating liquids for use in electrical equipment, such as liquid-immersed transformers and tap-changers, liquid-impregnated capacitors, and liquid-cooled rotating machines used in electrical vehicles and oil pumps. This document is applicable to mineral insulating liquids, natural esters, silicone insulating liquids, synthetic organic esters, modified esters, capacitor fluids based on synthetic aromatic hydrocarbons and e-transmission fluids used in electrical vehicles and oil pumps. The compatibility tests are not sufficient for a full qualification of construction materials for a given application without additional tests requested by the appropriate IEC Technical Committee or equipment manufacturers.

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 60296:2020, *Fluids for electrotechnical applications – Mineral insulating oils for electrical equipment*

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

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

IEC 60836:2015, *Specifications for unused silicone insulating liquids for electrotechnical purposes*

IEC 60851-4:2016, *Winding wires – Test methods – Part 4: Chemical properties*

IEC 60867, *Insulating liquids – Specifications for unused liquids based on synthetic aromatic hydrocarbons*

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

IEC 62021-3:2014, *Insulating liquids – Determination of acidity – Part 3: Test methods for non-mineral insulating oils*

IEC 62770:2013, *Fluids for electrotechnical applications – Unused natural esters for transformers and similar electrical equipment*

IEC 62961, *Insulating liquids – Test methods for the determination of interfacial tension of insulating liquids – Determination with the ring method*

IEC 63012:2019, *Insulating liquids – Unused modified or blended esters for electrotechnical applications*

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

ASTM D1524, *Standard Test Method for Visual Examination of Used Electrical Insulating Liquids in the Field*

3 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

insulating liquid

insulating material consisting entirely of a liquid

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-04]

3.2

mineral insulating oil

insulating liquid for transformers and similar electrical equipment (e.g. switchgear, tapchangers), derived from petroleum products and/or other hydrocarbons

[SOURCE: IEC 60296:2020, 3.1]

3.3

natural esters

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

[SOURCE: IEC 62770:2013, 3.3]

3.4

silicone insulating liquids

liquid organopolysiloxanes whose molecular structure consists mainly of linear chains of alternating silicon and oxygen atoms, with hydrocarbon groups attached to the silicon atoms

[SOURCE: IEC 60836:2015, 3.1]

3.5

synthetic organic ester

insulating liquid produced from acids and alcohols by chemical reaction

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-08, modified – The Note to entry has been omitted.]

3.6

modified ester insulating liquid

ester insulating liquid which has been made/synthesized or altered by chemical reaction

[SOURCE: IEC 63012:2019, 3.3, modified – The Notes to entry have been omitted.]

3.7

blended ester insulating liquid

homogeneous combination of unused natural, synthetic and/or modified esters that are miscible

[SOURCE: IEC 63012:2019, 3.4, modified – The note to entry has been omitted.]

3.8

compatibility (of materials)

ability of materials to be used together without deleterious changes in any of the materials

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-14-19]

3.9

breakdown voltage

voltage at which electric breakdown occurs under prescribed test conditions, or in use

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-34]

3.10

dielectric dissipation factor

absolute value of the ratio of the imaginary to the real part of the complex relative permittivity

Note 1 to entry: The dielectric dissipation factor is equal to the tangent of the dielectric loss angle.

Note 2 to entry: In English the abbreviation DDF is sometimes used to characterize the dielectric loss in insulating materials.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-29, modified – The admitted terms have been deleted and, in the definition, $\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon_r'$ has been deleted.]

3.11

acidity

quantity of base, expressed in milligrams of potassium hydroxide per gram of sample, required to titrate potentiometrically or colourimetrically a test portion in a specified solvent to the end point

[SOURCE: IEC 62021-3:2014, 3.1]

3.12

thermal class

designation that is equal to the numerical value of the recommended maximum continuous use temperature in degrees Celsius

Note 1 to entry: EIS subjected to operating temperatures exceeding its assigned thermal class can result in shorter expected life.

Note 2 to entry: Electrical insulation materials with different thermal endurance indices (ATE/RTE according to IEC 60216-5) may be combined to form an EIS which has a thermal class that may be higher or lower than the recommended maximum continuous use temperature of any of the individual components according to IEC 60505.

[SOURCE: IEC 60085:2007, 3.11]

3.13**electric insulation system****EIS**

insulating structure containing one or more electrical insulating material together with associated conducting parts employed in an electrotechnical device

[SOURCE: IEC 60085:2007, 3.2]

3.14**transformer**

electric energy converter without moving parts that changes voltages and currents associated with electric energy without change of frequency

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-42]

3.15**capacitor**

two-terminal device characterized essentially by its capacitance

Note 1 to entry: The term "capacitor" is used when it is not necessary to specify whether a capacitor unit or capacitor bank is meant.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-28, modified – Note 1 to entry has been added.]

3.16**e-transmission fluid**

fluid which is used in transmission with integrated e-motor design and plays dual roles of cooling e-motor and lubricating transmissions

3.17**liquid-cooled rotating machine**

type of rotating machine whose cooling system relies on fluids instead of air or water

Note 1 to entry: During operation period, heat exchange happens between fluids and rotating machine.

3.18**impregnating resin**

solventless compound of low viscosity which is applied by casting or dipping techniques, and which solidifies after application

Note 1 to entry: The resin normally has a viscosity low enough to permit complete penetration into fine windings, etc.

Note 2 to entry: See also 212-15-36, varnish.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-15-31]

3.19**coating**

insulating material such as varnish or dry film laid on the surface of the assembly

Note 1 to entry: The coating and base material of a printed board form an insulating system that may have properties similar to solid insulation.

[SOURCE: IEC 60664-2-1:2011]

4 General information

It is possible that individual tests will not be sufficient for the full evaluation of the construction material compatibility. Other detection methods such as dissolved gas analysis (DGA) can be informative to detect compatibility problems at the beginning stage if additional requirements are agreed upon between supplier and user.

NOTE 1 Based on the test experiences, sampling directly after opening the test vessel is the common practice and there is negligible effect on the determination of the compatibility.

Selection of the tests depends on the stress of application and shall be agreed between the involved parties.

Some equipment manufacturers have their own testing protocols for construction material, which are adapted to their design, and shall be aligned between supplier and user.

Beyond construction materials discussed in 5.1, other remaining construction materials shall be tested according to each specific application request.

NOTE 2 The requirements for the oven can be referred to the series standards of IEC 60216-4.

5 Sampling and preparation

5.1 Test specimens – Solid materials

Test specimen size shall be such that the ratio of surface area to electrical insulating liquid volume is balanced between 100 % to 400 % of normal use in electrical equipment and the test sample specified in 6.5.

Some suggested ratios and preparations are as follows:

If the surface area of test specimen can be measured, surface areas no less than 52 cm² shall be used with each 800 ml of liquid. If the surface area of the specimen is less than 50 cm², the amount of insulating liquid shall be reduced accordingly.

If the surface area of test specimen cannot be measured, the test specimen shall be used in the amount of 1 % by the weight of the liquid.

Multi-component materials (e.g. unsaturated polyester resin, epoxy resin, vinyl ester resin or phenolic resin in combination with cellulose, glass fibres or polyester fabrics and fillers) shall be cured or treated in compliance with the different requirements of each application known to be compatible with the insulating liquid.

Solid polymer-based materials such as those made of polyamides, polyphthalamides, polytetrafluoroethylene (PTFE) or other high-performance materials shall be tested on suitable sample parts (or sections thereof) as used in the real application. If tensile strength of multi-component materials and solid materials shall be determined, standardized tensile specimen (tensile rods) shall be prepared and immersed in 800 ml of liquid.

Adhesives can be tested by creating bonded joint samples, using the same materials and combinations as in the industrial application. For thread lock materials, threaded connection samples shall be created, which are fastened with a defined torque, as in the industrial application.

Gasket materials shall be tested not less than 65 cm² surface area per 800 ml of liquid. Samples as used in the application (or sections thereof) can be used.

For liquid filled transformers and similar equipment, tap-changers, varnishes or material used as dip coatings shall be cured on aluminium foil, steel plate or other known materials to be compatible with insulating liquids. They shall be tested at a ratio of not less than 500 cm² of surface area per 800 ml of liquid.

Enamelled wire shall be tested at a ratio as one of below:

- Specified in IEC 60851-4:2016, Table 2.
- Aligned between supplier and user.

When the proportions used for the evaluation are in accordance with the values in ASTM D3455, ASTM D3455 shall be recorded in the report.

Core steel and core-steel coatings shall be tested on specimens at a ratio of not less than 500 cm² of surface area per 800 ml of liquid.

For liquid-cooled rotating machines, impregnating resins, such as epoxy resin and unsaturated polyester resin, shall be cured or treated in compliance with the corresponding applications and shall be tested at a ratio of not less than 500 cm² of surface area per 800 ml of liquid. Enamelled wire, such as polyamides, polyphthalamides, polyester and polyamide-imide coated wire shall be tested at a ratio of 300 cm² of surface area per 800 ml of liquid.

There are certain materials in electrical apparatus where the suggested ratios of material to liquid are impractical. When this condition exists, the actual ratio should be reported.

Ratio of other materials which are not specified should be balanced between normal consumption in electrical equipment and test sample requests.

In the compatibility test, the sample size can be reduced as necessary, but the sample used for testing should be fully exposed to the insulating liquid.

5.2 Pre-treatment

Solid materials shall be carefully cleaned and pre-dried in an oven at $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ for at least 16 h, or by the agreement between supplier and user. Cellulose insulation or other porous materials shall be carefully treated to mitigate the damage from drying in an air circulating oven. It is recommended that such materials be adequately dried and impregnated in a vacuum oven to reduce the effects of oxygen on these materials. Additional pre-conditioning solid materials should be prepared as reference samples (refer to Clause 6). Vessels, tongs, and any other tools shall be carefully cleaned and pre-dried in an oven at $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ for at least 16 h. Any additional handling, transportation of solid materials or test apparatus should be done with clean and dry tools, since contaminated or improperly handled liquids and test specimens, and improperly cleaned vessels, handling devices and tools can obscure the results.

Vessels made of stainless steel or glass are recommended as these do not have any impact on the accuracy of the compatibility test results.

5.3 Test liquids

5.3.1 General

In accordance with established industry test standards for liquids, different liquids for different applications can have different pre-conditioning requirements. Some test standards require additional procedures to degas, to reduce moisture content, or to remove possible contaminants.

For the sample of all liquids to be evaluated, an additional liquid sample of designed volume shall be included for the exposure to the same test conditions without any material being immersed, which is referred to as a reference sample.

NOTE In some industry test standards this reference is known as blank sample.

5.3.2 Liquids applied in transformers and tap-changers

The insulating liquid used in the compatibility test shall be filtered, degassed and dried, the water content and breakdown voltage of the insulating liquid shall meet the limits requirement given in Table 1. The tested parameters like dissipation factor, acidity and interfacial tension deviated from the values required in the standards for unused liquids (IEC 60296 for mineral oils, IEC 61099 for synthetic esters, IEC 62770 for natural esters, IEC 63012 for blended esters, IEC 60836 for silicone liquids) shall be critically evaluated for applicability before use.

Unless recommended, these conditions shall be the default conditions. Other values for any properties shall be agreed, followed and reported accordingly.

Table 1 – Limit values of water content and breakdown voltage for transformer insulating liquids after pre-conditioning

Insulating liquid	Max. water content (mg/kg)	Min. breakdown voltage (kV/2,5 mm)
Mineral insulating oil	20	50
Natural ester	100	50
Silicone insulating liquid	50	50
Synthetic organic ester	200	50
Modified ester insulating liquid or blended ester insulating liquid	200	50

5.3.3 Liquids applied in capacitors

An approved capacitor fluid based on synthetic aromatic hydrocarbons shall not exceed the water content limitation required in IEC 60867.

Other parameters such as dielectric dissipation factor, breakdown voltage, etc. shall also be taken into consideration.

5.3.4 Liquids applied in liquid-cooled rotating machines

For an approved e-transmission fluid, select one from below:

- 0,2 % per volume deionized water, represents a typical maximum empirical limit of water content of in-service liquids for liquid-cooled rotating machines,
- 0,5 % per volume deionized water, act as an accelerating condition for the compatibility evaluation,

which should be added to simulate operation conditions of liquid-cooled rotating machine in vehicles.

NOTE 1 Different water content can be aligned and selected by supplier and user, depending on different maximum empirical limit of in-service liquids for liquid-cooled rotating machines.

NOTE 2 There can be a difference in deterioration result from 0,2 % condition to 0,5 % condition.

6 Procedure

6.1 General

Vessels, gasket and other testing containers shall be selected to avoid any detrimental impact on the test results.

To evaluate changes of the liquid and solid materials, it is necessary to have all properties included in the conditioning process tested prior to any exposure to any other solid or liquid materials. These measured values are the benchmark values, referred to in 6.5.

Sets of test specimens are to be placed in separate vessels. One set for each test interval. The number of test sets is determined by the number of test intervals. Test conditions should follow 6.2, 6.3 or 6.4, according to different applications. At the completion of each test interval, one set should be removed from conditioning and evaluated according to 6.5.

Recommended interval duration is from 48 h to 168 h and recommended number of test intervals is 4, which can be accumulated to 672 h.

NOTE 1 For some applications, the numbers and the length of the ageing cycle interval can be increased or decreased by the agreement between the involved parties.

NOTE 2 Long time interval is special testing for the purpose to evaluate solid materials.

6.2 Conditioning procedure for liquid-immersed transformers and tap-changers

The qualified sample taken from the liquid treatment system shall be transferred directly into the test vessels.

Put the test specimens into the vessels and keep them completely immersed in the liquid. Bubble dry nitrogen in the liquid for approximately 10 min. Close and seal the test vessels.

Place the sealed test vessels with the specimens in an oven at the temperature that meets the thermal class of the electrical insulation system (such as $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$, $(120 \pm 2) ^\circ\text{C}$, $(130 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(155 \pm 2) ^\circ\text{C}$, etc.) or applicable temperature. Together place a similar vessel filled with an equivalent volume of the same liquid as reference sample.

NOTE The selection of the ageing temperature is based on the temperature of the EIS is expected to be the maximum temperature. Using the EIS temperature rating is expected to be the most severe thermal condition.

6.3 Conditioning procedure for liquid-impregnated capacitors

The qualified sample taken from the liquid treatment system shall be transferred directly into the test vessels.

Put the test specimens into the vessels and keep them completely immersed in the liquid. Close and seal the test vessels or cover the vessels with aluminium foil, to ensure the liquid is protected from any contaminations.

Place the test vessels with specimens in an oven at $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Together place a similar vessel filled with an equivalent volume of the same liquid as reference sample.

6.4 Conditioning procedure for liquid-cooled rotating machines

The qualified sample taken from the liquid treatment system shall be transferred directly into the test vessels.

Add the test specimens into the vessels and keep them completely immersed in the liquid. Close and seal the test vessels with pressure relief valve, which shall be able to withstand saturated vapor pressure of water under specific test temperature.

When agreed by supplier and user, a waterproof breathable valve is accepted as a replacement for a pressure relief valve for sealing the test vessels, but regular water supplementation is necessary for the purpose of simulating the operation conditions of a liquid-cooled rotating machine in vehicles.

Place the test vessels with specimens in an oven at the temperature that meets the thermal class of the insulating system using the tested insulating liquids (such as $(155 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(180 \pm 2) ^\circ\text{C}$, etc.). Place with it a similar vessel filled with an equivalent volume of the same liquid as a reference sample.

6.5 Test procedure

After the conditioning, remove the vessels from the oven and cool down to room temperature. Remove the test specimens from the liquid and conduct any desired tests on the materials. The properties of both insulating liquids and construction materials are tested. The test results shall be compared with those of benchmark specimens to determine any differences. Caution shall be taken to avoid contaminating the sample during operation.

The required measurable properties of the liquid are specified in Table 2, Table 3 and Table 4, and the ageing behaviour of liquid shall be considered if a high number of intervals is applied (refer to 6.1).

The properties for the reference sample shall also be determined to allow a calculation of possible changes, caused by the immersion of solid material in the liquid. Further properties can be tested if required based on the real application case.

Table 2 – Required properties of insulating liquids for transformers and tap-changers

Properties	Standard
Interfacial tension	IEC 62961
Acidity	IEC 62021
Breakdown voltage	IEC 60156
Dielectric dissipation factor	IEC 60247
Colour	ISO 2049
Appearance and turbidity	IEC 60422, ASTM D1524
Water content	IEC 60814
NOTE 1 Water content can be useful but optional.	
NOTE 2 Suggested breakdown voltage gap distance: 2,5 mm.	
NOTE 3 Suggested to run dielectric dissipation factor at temperature: 90 °C.	

Table 3 – Required properties of capacitor fluids

Properties	Standard
Breakdown voltage	IEC 60156
Dielectric dissipation factor	IEC 60247
Water content	IEC 60814
NOTE 1 Water content can be useful but optional.	
NOTE 2 Suggested breakdown voltage gap distance: 2,5 mm.	
NOTE 3 Suggested to run dielectric dissipation factor at temperature: 90 °C.	

Table 4 – Required properties of e-transmission fluids for rotating machines

Properties	Standard
Acidity	IEC 62021
Resistivity	IEC 60247
Water content	IEC 60814
NOTE Water content can be useful but optional.	

Suggested properties of solid materials are shown in Table 5, Table 6 and Table 7.

An example for a compatibility testing of a NBR O-ring with mineral oil is presented in Annex A.

Table 5 – Examples for test of impregnating resins, multi-component materials

Properties	Standard
Breakdown voltage (if material is under dielectric stress)	IEC 60455-2 (resins) or IEC 60243-1 (multi-component materials)
Mass change	ISO 1817
Volume change	ISO 1817
Tensile strength (if applicable)	ISO 527-4
NOTE Some additional indicators are the appearance of the surface and discoloration: by comparison with an untested reference sample, changes are easily detected (e.g. from glossy to matte, from smooth to rough, from solid to crumbly, from light to dark). Another indicator is the tactile sensation (e.g. hard, weak or soft, brittle).	

Table 6 – Examples for test of enamelled wire

Properties	Standard
Breakdown voltage (enamelled wire)	IEC 60851-5, IEC 60851-4
Bonding strength (impregnating resins to an enamelled wire substrate, if applicable)	IEC 61033

Table 7 – Examples for test of gasket materials

Properties	Standard
Mass change	ISO 1817
Volume change	ISO 1817
Hardness	ISO 868
Tensile strength	ISO 37
Elongation at break	ISO 37
Compression set	ISO 815-1
NOTE Tested specimens of adhesives or thread locks are evaluated according to their required function. Reduction of adhesive force and loosening torque meet the functional requirements.	

7 Report

The report shall include all the following:

- a) Reference to this IEC test standard.
- b) Any modifications or adjustments to the procedure used which is not defined in this document.
- c) The description of the material tested, including the size or dimensions or shape of the material.
- d) The description of the insulating liquid and the quantity used in the test.
- e) Pre-testing conditioning and the ratio of tested material to insulating liquid.
- f) Test conditions: duration of the exposure, test temperature.
- g) Test results of all measured properties of the tested liquid and tested solid material shall be recorded, as well as the measured properties of the reference liquid and solid material sample. Deviations between tested and reference sample shall be calculated and reported.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63177:2024

Annex A (informative)

Example for a compatibility testing of a NBR O-ring under mineral oil for transformer application

A.1 General

The following tests listed in Table A.1, Table A.2 and Table A.3 are conducted for the compatibility evaluation of NBR O-ring with mineral oil for transformer application.

A.2 Test items and standards

Table A.1 – Tests of a NBR O-ring under delivery conditions

Properties	Standard
A-hardness	ISO 48-4
Density	ISO 1183-1

Table A.2 – Tests on the O-ring after storage mineral oil

Properties	Standard
Volume and weight change	ISO 1817
Dimension change	ISO 1817
A-hardness change	ISO 48-4
Compression set	ISO 815-1
Cold resistance	ISO 815-2

Table A.3 – Tests on the mineral oil after storage with the O-ring

Properties	Standard
Colour	ISO 2049
Acidity	IEC 62021
Interfacial tension	IEC 62961
Dielectric dissipation factor (DDF) at 90 °C	IEC 60247
Breakdown voltage	IEC 60156
Appearance and Turbidity	IEC 60422, ASTM D1524
Water content	IEC 60814
NOTE Water content can be useful but optional.	

Bibliography

IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices*

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

IEC TR 60076-26, *Power transformers – Part 26: Functional requirements of insulating liquids for use in power transformers*

IEC 60085:2007, *Electrical Insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60216-4-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single-chamber ovens*

IEC 60216-4-2, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-2: Ageing ovens – Precision ovens for use up to 300°C*

IEC 60216-4-3, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-3: Ageing ovens – Multi-chamber ovens*

IEC 60455-2, *Resin based reactive compounds used for electrical insulation – Part 2: Methods of test*

IEC 60588-6, *Askarels for transformers and capacitors – Part 6: Screening test for effects of materials on capacitor askarels*

IEC 60626-2, *Combined flexible materials for electrical insulation – Part 2: Methods of test*

IEC TR 60664-2-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 2-1: Application guide – Explanation of the application of the IEC 60664 series, dimensioning examples and dielectric testing*

IEC 60674-2:2016+AMD1:2019 CSV, *Specification for plastic films for electrical purposes – Part 2: Methods of test*

IEC 60819-2:2001, *Non-cellulosic papers for electrical purposes – Part 2: Methods of test*

IEC 60851-5, *Winding wires – Test methods – Part 5: Electrical properties*

IEC 61033, *Test methods for the determination of bond strength of impregnating agents to an enamelled wire substrate*

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*

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

ISO 37, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of tensile stress-strain properties*

ISO 48-4, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of hardness – Part 4: Indentation hardness by durometer method (Shore hardness)*

ISO 815-1, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of compression set – Part 1: At ambient or elevated temperatures*

ISO 868, *Plastics and ebonite – Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness)*

ISO 1817, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of the effect of liquids*

ASTM D3039, *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*

ASTM D3455, *Standard Test Methods for Compatibility of Construction Material with Electrical Insulating Oil of Petroleum Origin*

ASTM D5188, *Standard Test Method for Determination of Additive Elements, Wear Metals, and Contaminants in Used Lubricating Oils and Determination of Selected Elements in Base Oils by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)*

ASTM D638, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*

ASTM D828, *Standard Test Method for Tensile Properties of Paper and Paperboard Using Constant-Rate-of-Elongation Apparatus*

ASTM D877, *Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage of Insulating Liquids Using Disk Electrodes*

ASTM D882, *Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*

ASTM D971, *Standard Test Method for Interfacial Tension of Insulating Liquids Against Water by the Ring Method*

ABNT NBR 16431, *Equipamento elétrico – Determinação da compatibilidade de materiais empregados com óleo vegetal isolante*

CIGRÉ WG 14.05, *Interaction between Converter and Nearby Generator*, CIGRÉ Brochure 119, October 1997

C. PERRIER, M.-L. COULIBALY, M. MARUGAN, *Compatibility tests between solid and liquid materials for reliable transformers*, CIGRE conference, Paris, paper A2-305, 2020.

Ivanka Atanasova-Höhlein, *Compatibility of Materials with Insulating Liquids – Why and How to Test*, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 37, No. 4, July/August, 2021

Karambar, S.; Tenbohlen, S. *Compatibility Study of Silicone Rubber and Mineral Oil*. Energies 2021, 14, 5899. <https://doi.org/10.3390/en14185899>

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
INTRODUCTION.....	23
1 Domaine d'application	24
2 Références normatives	24
3 Termes et définitions	25
4 Informations générales	28
5 Échantillonnage et préparation	28
5.1 Éprouvettes – Matériaux solides	28
5.2 Prétraitement	30
5.3 Liquides d'essai	30
5.3.1 Généralités	30
5.3.2 Liquides utilisés dans des transformateurs et des changeurs de prises.....	30
5.3.3 Liquides utilisés dans des condensateurs	31
5.3.4 Liquides utilisés dans des machines tournantes refroidies par un liquide	31
6 Procédure.....	31
6.1 Généralités	31
6.2 Procédure de conditionnement des transformateurs et des changeurs de prises immergés dans du liquide	32
6.3 Procédure de conditionnement des condensateurs imprégnés de liquide	32
6.4 Procédure de conditionnement des machines tournantes refroidies par un liquide.....	32
6.5 Procédure d'essai	33
7 Rapport	35
Annexe A (informative) Exemple d'essai de compatibilité d'un joint torique NBR avec l'huile minérale pour une utilisation dans des transformateurs.....	36
A.1 Généralités	36
A.2 Essais et normes	36
Bibliographie.....	37
Tableau 1 – Valeurs limites de teneur en eau et de tension de claquage des isolants liquides pour transformateurs après le préconditionnement.....	31
Tableau 2 – Propriétés exigées des isolants liquides pour transformateurs et changeurs de prises.....	33
Tableau 3 – Propriétés exigées des fluides pour condensateurs	33
Tableau 4 – Propriétés exigées des liquides de transmission électronique pour machines tournantes.....	34
Tableau 5 – Exemples d'essais pour les résines d'imprégnation et les matériaux à plusieurs composants	34
Tableau 6 – Exemples d'essais pour les fils émaillés	34
Tableau 7 – Exemples d'essais pour les matériaux d'étanchéité	34
Tableau A.1 – Essais d'un joint torique NBR dans les conditions de livraison.....	36
Tableau A.2 – Essais sur le joint torique après stockage avec l'huile minérale	36
Tableau A.3 – Essais sur l'huile minérale après stockage avec le joint torique	36

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES D'ESSAI POUR ÉVALUER LA COMPATIBILITÉ DES
MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION AVEC LES ISOLANTS
ÉLECTRIQUES LIQUIDES**

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 63177 a été établie par le comité d'études 112 de l'IEC: Évaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique. Il s'agit d'une Norme internationale.

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

Projet	Rapport de vote
112/630/FDIS	112/640/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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63177:2024

INTRODUCTION

L'objectif du document est de clarifier la méthodologie utilisée pour évaluer la compatibilité entre les matériaux de construction et les isolants électriques liquides. Elle fournit des recommandations aux fabricants de transformateurs et de changeurs de prises immergés dans du liquide, de condensateurs imprégnés de liquide et de machines tournantes refroidies par un liquide utilisées dans les véhicules électriques et des pompes à huile. Les recommandations se concentrent sur le déverminage des matériaux de construction appropriés afin d'assurer la compatibilité entre les matériaux solides et liquides destinés à être utilisés avec différents liquides dans différentes conditions de fonctionnement. En outre, le document contient des essais qu'il convient d'effectuer sur les liquides et les matériaux de construction. Les essais ont lieu après une procédure de conditionnement à la température souhaitée et pour des échantillons de référence.

Dans le passé, un nombre limité de matériaux de construction et de liquides à base d'huile minérale répondaient aux besoins de l'industrie. Avec le développement de nouvelles applications, l'élévation des points d'éclair et la fiabilité renforcée des performances des matériels électriques remplis de liquide, les besoins de l'industrie ont évolué. C'est pourquoi il est devenu nécessaire de pouvoir évaluer les systèmes d'isolation électrique à haute température avec les huiles de silicone, les esters de synthèse, les esters naturels, et d'autres isolants liquides appropriés potentiels.

Parallèlement, les machines tournantes refroidies par un liquide utilisées dans les véhicules électriques et les pompes à huile augmentent également la possibilité que les matériaux de construction soient exposés à différents liquides, en raison de leurs meilleures performances conductrices thermiques. Pour éviter des défaillances mécaniques, électriques et d'étanchéité au niveau des matériaux de construction, à savoir matériaux d'étanchéité, résines d'imprégnation, matériaux préfabriqués, etc., les méthodes d'essai décrites dans le présent document peuvent être appliquées avec différents matériels électriques immergés dans du liquide, notamment les transformateurs et les changeurs de prises immergés dans du liquide, les condensateurs imprégnés de liquide, ainsi que les machines tournantes refroidies par un liquide utilisées dans les véhicules électriques et les pompes à huile.

Le processus d'évaluation spécifié dans le présent document repose sur la compatibilité chimique entre les matériaux de construction et les liquides, mais ne fournit pas d'évaluation thermique ni d'évaluation du vieillissement à long terme. En outre, les valeurs seuil des paramètres fonctionnels de chaque matériau ne sont pas spécifiées, car celles-ci dépendent des exigences spécifiques à l'application considérée.

Les Articles 1 à 5 contiennent des définitions et décrivent la préparation des échantillons d'essai solides et liquides appropriés.

L'Article 6 décrit la procédure d'essai (températures, durée de l'essai et cycles d'essai, par exemple) et énumère les paramètres caractéristiques à évaluer. Cela permet d'estimer la compatibilité élémentaire des matériaux de construction courants avec les isolants liquides.

Un exemple d'application est fourni à l'Annexe A.

MÉTHODES D'ESSAI POUR ÉVALUER LA COMPATIBILITÉ DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION AVEC LES ISOLANTS ÉLECTRIQUES LIQUIDES

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie la méthode d'essai pour évaluer la compatibilité des matériaux de construction avec les isolants électriques liquides destinés à être utilisés dans des matériels électriques, notamment les transformateurs et les changeurs de prises immergés dans du liquide, les condensateurs imprégnés de liquide, ainsi que les machines tournantes refroidies par un liquide utilisées dans les véhicules électriques et les pompes à huile. Le présent document s'applique aux liquides minéraux isolants, aux esters naturels, aux liquides isolants silicones, aux esters organiques de synthèse, aux esters modifiés, aux fluides pour condensateurs à base d'hydrocarbures aromatiques de synthèse, ainsi qu'aux fluides de transmission électronique utilisés dans les véhicules électriques et les pompes à huile. Les essais de compatibilité ne sont pas suffisants pour effectuer une qualification complète des matériaux de construction destinés à une application spécifique, sans effectuer les essais supplémentaires demandés par le comité d'études de l'IEC compétent ou par les fabricants d'équipements concernés.

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 60296:2020, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes pour matériel électrique*

IEC 60422, *Huiles minérales isolantes dans les matériels électriques – Lignes directrices pour la maintenance et la surveillance*

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

IEC 60836:2015, *Spécifications pour liquides isolants silicones neufs pour usages électrotechniques*

IEC 60851-4:2016, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai – Partie 4: Propriétés chimiques*

IEC 60867, *Isolants liquides – Spécifications pour les liquides neufs à base d'hydrocarbures aromatiques de synthèse*

IEC 61099, *Liquides isolants – Spécifications relatives aux esters organiques de synthèse neufs destinés aux matériels électriques*

IEC 62021-3:2014, *Liquides isolants – Détermination de l'acidité – Partie 3: Méthodes d'essai pour les huiles non minérales isolantes*

IEC 62770:2013, *Fluides pour applications électrotechniques – Esters naturels neufs pour transformateurs et matériels électriques analogues*

IEC 62961, *Isolants liquides – Méthodes d'essai pour la détermination de la tension interfaciale des isolants liquides – Détermination par la méthode à l'anneau*

IEC 63012:2019, *Isolants liquides – Esters neufs modifiés ou mélangés pour applications électrotechniques*

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

ASTM D1524, *Standard Test Method for Visual Examination of Used Electrical Insulating Liquids in the Field* (disponible en anglais seulement)

3 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

isolant liquide

matériau isolant entièrement constitué d'un liquide

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-04]

3.2

huile minérale isolante

liquide isolant pour transformateurs et matériels électriques analogues (appareillages de connexion, changeurs de prises, par exemple) dérivé de produits pétroliers et/ou d'autres hydrocarbures

[SOURCE: IEC 60296:2020, 3.1]

3.3

esters naturels

huiles végétales obtenues à partir de graines et des huiles obtenues à partir d'autres matériaux biologiques et sont composés de triglycérides

[SOURCE: IEC 62770:2013, 3.3]

3.4

liquides isolants silicones

organopolysiloxanes liquides dont la structure moléculaire consiste principalement en des chaînes linéaires alternant les atomes de silicium et d'oxygène, avec des groupes hydrocarbonés attachés aux atomes de silicium

[SOURCE: IEC 60836:2015, 3.1]

3.5

ester organique de synthèse

isolant liquide produit à partir d'acides et d'alcools par réaction chimique

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-08, modifié – La Note à l'article a été supprimée.]

3.6

isolant liquide à base d'esters modifiés

isolant liquide à base d'esters qui ont été produits/synthétisés ou modifiés par réaction chimique

[SOURCE: IEC 63012:2019, 3.3, modifié – Les Notes à l'article ont été supprimées.]

3.7

isolant liquide à base d'esters mélangés

combinaison homogène d'esters naturels, synthétiques et/ou modifiés, neufs et qui sont miscibles

[SOURCE: IEC 63012:2019, 3.4, modifié – La Note à l'article a été supprimée.]

3.8

compatibilité (de matériaux)

aptitude de matériaux à être utilisés ensemble sans modification nocive d'aucun des matériaux

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-14-19]

3.9

tension de claquage

tension à laquelle un claquage électrique se produit, dans des conditions d'essais prescrites ou en service

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-34]

3.10

facteur de dissipation diélectrique

value absolue du rapport de la partie imaginaire à la partie réelle de la permittivité relative complexe

Note 1 à l'article: Le facteur de dissipation diélectrique est égal à la tangente de l'angle de pertes diélectriques.

Note 2 à l'article: En anglais, l'abréviation DDF est parfois utilisée pour caractériser les pertes diélectriques des matériaux isolants.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-11-29, modifié – Les termes admis ont été supprimés et, dans la définition, $\tan \delta = \epsilon_r'' / \epsilon_r'$ a été supprimé.]

3.11

acidité

quantité de base, exprimée en milligrammes d'hydroxyde de potassium par gramme d'échantillon, exigée pour titrer par potentiométrie ou par colorimétrie une prise d'essai dans un solvant spécifié jusqu'au point final

[SOURCE: IEC 62021-3:2014, 3.1]

3.12**classe thermique**

désignation correspondant à la valeur numérique de la température d'utilisation continue maximale recommandée en degrés Celsius

Note 1 à l'article: Un EIS soumis à des températures de fonctionnement dépassant sa classe thermique attribuée peut entraîner une durée de vie plus courte.

Note 2 à l'article: Un matériau isolant électrique avec des indices d'endurance thermique différents (ATE/RTE, conformément à l'IEC 60216-5) peut être combiné pour former un EIS ayant une classe thermique pouvant être supérieure ou inférieure à la température d'utilisation continue maximale recommandée de l'un des composants individuels, conformément à l'IEC 60505.

[SOURCE: IEC 60085:2007, 3.11]

3.13**système d'isolation électrique****EIS**

structure isolante contenant un ou plusieurs matériaux isolants électriques, ainsi que des parties conductrices associées, utilisée dans un dispositif électrotechnique

Note 1 à l'article: L'abréviation "EIS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "electric insulation system".

[SOURCE: IEC 60085:2007, 3.2]

3.14**transformateur**

convertisseur d'énergie électrique sans pièces mobiles qui modifie les tensions et courants associés à une énergie électrique sans changement de fréquence

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-42]

3.15**condensateur**

bipôle caractérisé essentiellement par la grandeur capacité

Note 1 à l'article: Le terme "condensateur" est utilisé lorsqu'il n'est pas nécessaire de spécifier si une unité de condensateur ou une batterie de condensateurs est pertinente.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-28, modified – La Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.16**fluide de transmission électronique**

fluide utilisé dans une transmission associée à une conception de moteur électronique intégrée et qui assure une double fonction, à savoir le refroidissement du moteur électronique et la lubrification des composants de transmission

3.17**machine tournante refroidie par un liquide**

type de machine tournante dont le système de refroidissement repose sur des fluides en lieu et place de l'air ou de l'eau

Note 1 à l'article: Pendant la période de fonctionnement, un échange de chaleur se produit entre les fluides et la machine tournante.

3.18

résine d'imprégnation

composition sans solvant de faible viscosité, qui est appliquée par coulée ou trempage et qui se solidifie après application

Note 1 à l'article: La résine a normalement une viscosité suffisamment faible pour permettre sa pénétration complète dans des enroulements fins, etc.

Note 2 à l'article: Voir aussi 212-15-36, vernis.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-15-31]

3.19

revêtement

matériau isolant tel que vernis ou film sec posé sur la surface de l'ensemble

Note 1 à l'article: Le revêtement et le matériau de base d'une carte imprimée forment un système isolant qui peut avoir des propriétés similaires à l'isolation solide.

[SOURCE: IEC 60664-2-1:2011]

4 Informations générales

Il est possible qu'un essai individuel ne soit pas suffisant pour effectuer l'évaluation complète de la compatibilité des matériaux de construction. D'autres méthodes de détection, comme l'analyse des gaz dissous (DGA, *Dissolved Gas Analysis*), peuvent être informatives pour détecter des problèmes de compatibilité au début si des exigences supplémentaires sont établies entre le fournisseur et l'utilisateur.

NOTE 1 Selon les expériences d'essais, l'échantillonnage directement après l'ouverture du récipient d'essai est une pratique courante dont l'effet sur la détermination de la compatibilité est négligeable.

Le choix des essais dépend des contraintes de l'application et doit faire l'objet d'un accord entre les parties concernées.

Certains fabricants d'équipements possèdent leurs propres protocoles d'essai de matériaux de construction, qui sont adaptés à leur conception, et doivent être fixés par accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Outre les matériaux de construction décrits au 5.1, les autres matériaux de construction restants doivent être soumis à l'essai conformément à chaque demande d'application spécifique.

NOTE 2 Les exigences applicables à l'étuve peuvent se référer aux normes de la série IEC 60216-4.

5 Échantillonnage et préparation

5.1 Éprouvettes – Matériaux solides

La taille des éprouvettes doit être telle que le rapport de la surface sur le volume d'isolant électrique liquide soit équilibré entre 100 % et 400 % des conditions d'utilisation normale des matériaux dans le matériel électrique et de l'échantillon d'essai spécifié au 6.5.

Les rapports et préparations suivants sont suggérés:

Si la surface de l'éprouvette peut être mesurée, des surfaces d'au moins 52 cm² doivent être utilisées par 800 ml de volume de liquide. Si la surface de l'éprouvette est inférieure à 50 cm², la quantité d'isolant liquide doit être réduite en conséquence.

Si la surface de l'éprouvette ne peut pas être mesurée, l'éprouvette doit être utilisée à hauteur de 1 % du poids du liquide.

Les matériaux à plusieurs composants (par exemple, résine de polyester non saturé, résine époxyde, résine d'éther vinylique ou résine phénolique utilisée conjointement avec de la cellulose, des fibres de verre, des fibres ou des charges de polyester) doivent être durcis ou traités conformément aux différentes exigences de chaque application connue comme étant compatible avec l'isolant liquide.

Les matériaux à base de polymère solide, comme les polyamides, les polyphthalamides, le polytétrafluoréthylène (PTFE) ou d'autres matériaux à hautes performances, doivent être soumis à l'essai sur des parties d'échantillons appropriées (ou sur des sections d'échantillons) utilisées dans l'application réelle. Si la résistance à la traction des matériaux à plusieurs composants et des matériaux solides doit être déterminée, l'éprouvette de traction normalisée (tiges de traction) doit être préparée et immergée dans 800 ml de liquide.

Les matériaux adhésifs peuvent être soumis à l'essai en confectionnant des échantillons joints liés, constitués des mêmes matériaux et combinaisons que ceux utilisés dans l'application industrielle. Pour les matériaux de filetage, des échantillons de connexions filetées doivent être confectionnés et fixés à un couple défini, comme dans l'application industrielle.

Les matériaux d'étanchéité doivent être soumis à l'essai sur une surface supérieure ou égale à 65 cm² par 800 ml de volume de liquide. Les échantillons utilisés dans l'application (ou des sections d'échantillons) peuvent être utilisés.

Pour les transformateurs remplis de liquide et équipements analogues, les changeurs de prises, les vernis ou les matériaux utilisés comme revêtements au trempé doivent être durcis sur une feuille d'aluminium, une plaque d'acier ou d'autres matériaux connus pour être compatibles avec les isolants liquides. Ces dispositifs doivent être soumis à l'essai selon un rapport de la surface supérieure ou égale à 500 cm² par volume de 800 ml de liquide.

Le fil émaillé doit être soumis à l'essai selon l'un des rapports suivants:

- spécifié dans IEC 60851-4:2016, Tableau 2;
- fixé par accord entre le fournisseur et l'utilisateur.

Lorsque les proportions utilisées pour l'évaluation sont conformes aux valeurs de l'ASTM D3455, l'ASTM D3455 doit être mentionnée dans le rapport.

Les âmes métalliques et revêtements à âme métallique doivent être soumis à l'essai sur les éprouvettes selon un rapport de la surface supérieure ou égale à 500 cm² par volume de 800 ml de liquide.

Pour les machines tournantes refroidies par un liquide, les résines d'imprégnation, comme la résine époxyde et la résine de polyester non saturé, doivent être durcies ou traitées conformément aux applications correspondantes et doivent être soumises à l'essai selon un rapport de la surface supérieure ou égale à 500 cm² par volume de 800 ml de liquide. Les fils émaillés, comme les fils revêtus de polyamide, de polyphthalamide, de polyester et de polyesterimide, doivent être soumis à l'essai selon un rapport de la surface supérieure ou égale à 300 cm² par volume de 800 ml de liquide.

Dans les appareils électriques, il existe certains matériaux pour lesquels les rapports matériau/liquide suggérés ne sont pas réalisables. Dans un tel cas, il convient de consigner le rapport réel.

Pour le rapport des autres matériaux qui ne sont pas spécifiés, il convient de trouver un compromis entre la consommation normale dans le matériel électrique et les demandes d'échantillons d'essai.

Lors de l'essai de compatibilité, la taille de l'échantillon peut être réduite en fonction des besoins, mais il convient d'exposer entièrement l'échantillon utilisé pour les essais à l'isolant liquide.

5.2 Prétraitement

Les matériaux solides doivent être soigneusement nettoyés et préalablement séchés dans une étuve à (105 ± 5) °C pendant au moins 16 h, ou selon l'accord entre le fournisseur et l'utilisateur. Les isolants celluloseux ou autres matériaux poreux doivent être traités avec soin afin d'atténuer les dommages dus au séchage dans une étuve à circulation d'air. Il est recommandé de sécher soigneusement ces matériaux et de les imprégner dans une étuve à vide afin de réduire les effets de l'oxygène sur ces matériaux. Pour constituer les échantillons de référence, il convient de préparer des matériaux solides préconditionnés supplémentaires (voir Article 6). Les récipients, les broches et autres outils doivent être soigneusement nettoyés et préalablement séchés dans une étuve à (105 ± 5) °C pendant au moins 16 h. Il convient d'effectuer toute manutention supplémentaire ou tout transport supplémentaire des matériaux solides ou de l'appareillage d'essai au moyen d'outils propres et secs, car les liquides et éprouvettes contaminés ou manipulés de manière inappropriée, ainsi que les récipients, dispositifs de manutention et outils mal nettoyés peuvent fausser les résultats.

Il est recommandé d'utiliser des récipients en acier inoxydable ou en verre, car ces matériaux n'ont aucune incidence sur l'exactitude des résultats d'essai de compatibilité.

5.3 Liquides d'essai

5.3.1 Généralités

Conformément aux normes d'essai industrielles établies pour les liquides, les exigences de préconditionnement peuvent être différentes en fonction du liquide et de l'application prévue. Certaines normes d'essai exigent des procédures supplémentaires pour effectuer un dégazage, réduire la teneur en humidité ou éliminer les contaminants éventuels.

Pour l'échantillon de l'ensemble des liquides à évaluer, un échantillon de liquide supplémentaire du volume prévu doit être inclus afin de l'exposer aux mêmes conditions d'essai, excepté qu'aucun matériau n'est immergé. Cet échantillon constitue ainsi l'échantillon de référence.

NOTE Dans certaines normes d'essai industrielles, cette référence est appelée "échantillon témoin".

5.3.2 Liquides utilisés dans des transformateurs et des changeurs de prises

L'isolant liquide utilisé lors de l'essai de compatibilité doit être filtré, dégazé et séché. La teneur en eau et la tension de claquage de l'isolant liquide doivent satisfaire aux exigences de limites indiquées dans le Tableau 1. Les paramètres en essai, comme le facteur de dissipation, l'acidité et la tension interfaciale, déterminés à partir des valeurs exigées dans les normes relatives aux liquides neufs (l'IEC 60296 pour les huiles minérales, l'IEC 61099 pour les esters de synthèse, l'IEC 62770 pour les esters naturels, l'IEC 63012 pour les esters mélangés, l'IEC 60836 pour les liquides silicones) doivent être évalués avec soin afin d'évaluer leur aptitude à l'emploi avant utilisation.

En l'absence de recommandations, ces conditions doivent être les conditions par défaut. Les autres valeurs de propriétés doivent être fixées par accord, respectées et consignées en conséquence.

Tableau 1 – Valeurs limites de teneur en eau et de tension de claquage des isolants liquides pour transformateurs après le préconditionnement

Isolant liquide	Valeur maximale de la teneur en eau (mg/kg)	Valeur minimale de la tension de claquage (kV/2,5 mm)
Huile minérale isolante	20	50
Ester naturel	100	50
Liquide isolant silicone	50	50
Ester organique de synthèse	200	50
Isolant liquide à base d'esters modifiés ou isolant liquide à base d'esters mélangés	200	50

5.3.3 Liquides utilisés dans des condensateurs

Il convient qu'un fluide à base d'hydrocarbures aromatiques de synthèse approuvé pour une utilisation avec des condensateurs ne doit pas dépasser la limite de teneur en eau exigée dans l'IEC 60867.

Il convient également de prendre en compte d'autres paramètres comme le facteur de dissipation diélectrique, la tension de claquage, etc.

5.3.4 Liquides utilisés dans des machines tournantes refroidies par un liquide

Pour un fluide de transmission électronique approuvé, choisir une limite dans la liste suivante:

- 0,2 % par volume d'eau désionisée, cette valeur constitue une limite empirique maximale courante pour la teneur en eau des liquides en service dans les machines tournantes refroidies par un liquide;
- 0,5 % par volume d'eau désionisée, cette valeur constitue une condition d'accélération pour les évaluations de compatibilité.

Il convient d'ajouter ces volumes afin de simuler les conditions de fonctionnement d'une machine tournante refroidie par un liquide dans des véhicules.

NOTE 1 Des teneurs en eau différentes peuvent être fixées et choisies par le fournisseur et l'utilisateur, en fonction des différentes limites empiriques maximales des liquides en service dans les machines tournantes refroidies par un liquide.

NOTE 2 Les résultats de détérioration peuvent varier selon la condition appliquée (0,2 % ou 0,5 %).

6 Procédure

6.1 Généralités

Les récipients, garnitures d'étanchéité et autres conteneurs d'essai doivent être choisis de sorte qu'ils ne faussent pas les résultats d'essai.

Pour évaluer les variations des propriétés des matériaux liquides et solides, il est nécessaire de soumettre à l'essai l'ensemble des propriétés incluses dans le processus de conditionnement avant toute exposition à d'autres matériaux solides ou liquides. Ces valeurs mesurées constituent les valeurs de référence, qui se réfèrent au 6.5.

Les lots d'éprouvettes doivent être placés dans des récipients distincts. Un lot est utilisé pour chaque intervalle d'essai. Le nombre de lots d'essai est déterminé par le nombre d'intervalles d'essai. Il convient que les conditions d'essai soient conformes au 6.2, au 6.3 ou au 6.4, selon l'application. À issue de chaque intervalle d'essai, il convient de retirer un lot de l'appareillage de conditionnement et de l'évaluer conformément au 6.5.