

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Fluids for electrotechnical applications – Mineral insulating oils for electrical equipment

Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes pour matériel électrique

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60296:2020



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 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 Central Office
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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Fluids for electrotechnical applications – Mineral insulating oils for electrical equipment

Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes pour matériel électrique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.040.10

ISBN 978-2-8322-8377-6

**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	5
INTRODUCTION	7
1 Scope	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	10
4 Properties of oil	12
4.1 General	12
4.2 Functional properties	12
4.3 Production and stability	12
4.4 Performance	13
4.5 Health, safety and environment (HSE) properties	13
5 Classification, labelling, identification, general delivery requirements and sampling	13
5.1 Classification and labelling	13
5.1.1 Classes	13
5.1.2 Antioxidant (oxidation inhibitor) content	13
5.1.3 Lowest cold start energizing temperature (LCSET)	14
5.1.4 Labelling and ordering designation	14
5.2 Requirements	14
5.3 Miscibility and compatibility	14
5.4 Identification and general delivery requirements	15
5.5 Sampling	15
6 Properties, their significance and test methods	15
6.1 Viscosity	15
6.2 Pour point	16
6.3 Water content	16
6.4 Breakdown voltage	16
6.5 Density	16
6.6 Dielectric dissipation factor (DDF)	17
6.7 Colour and appearance	17
6.8 Acidity	17
6.9 Interfacial tension (IFT)	17
6.10 Sulphur content	17
6.11 Corrosive and potentially corrosive sulphur	17
6.12 Additives (see 3.3)	18
6.12.1 General	18
6.12.2 Antioxidants (see 3.4)	18
6.12.3 Metal passivators	18
6.12.4 Pour point depressants	18
6.13 Oxidation stability	19
6.14 Flash point	19
6.15 Polycyclic aromatics (PCAs) and polyaromatic hydrocarbons (PAHs)	19
6.16 Polychlorinated biphenyl content (PCBs)	19
6.17 2-furfural (2-FAL) and related compounds content	19
6.18 DBDS content	20
6.19 Stray gassing under thermo-oxidative stress	20
7 Additional properties	24

7.1	General.....	24
7.2	Electrostatic charging tendency (ECT)	24
7.3	Gassing tendency	24
7.4	Thermal properties.....	25
7.5	Properties connected with consistency (aromatic content, distribution of PAHs, refractive index)	25
7.6	Lubricating properties	25
7.7	Particle content.....	25
7.8	Foaming.....	25
7.9	Transformer oil test equivalents	25
Annex A	(normative) Method for stray gassing under thermo-oxidative stress	26
A.1	Overview of the method	26
A.2	Required materials.....	26
A.3	Pretreatment of syringes	26
A.4	Procedure A: stray gassing under oxidative conditions (high oxygen content)	27
A.4.1	Pretreatment of mineral oil.....	27
A.4.2	Filling syringes with mineral oil	27
A.4.3	Incubation procedure	27
A.4.4	Dissolved gas analysis	27
A.5	Procedure B: stray gassing under inert conditions (low oxygen content)	27
A.6	Reporting	28
A.6.1	Test report.....	28
A.6.2	Evaluation of the stray gassing behaviour of the oil	28
A.7	Precision data.....	28
A.7.1	General	28
A.7.2	Repeatability	28
A.7.3	Reproducibility.....	28
A.8	Results of the RRT.....	29
A.8.1	General	29
A.8.2	Stray gassing pattern 1	29
A.8.3	Stray gassing pattern 2.....	30
A.8.4	Stray gassing pattern 3.....	31
A.8.5	Stray gassing pattern 4.....	32
Annex B	(informative) Potentially corrosive sulphur	33
B.1	Mechanism of copper sulphide deposition	33
B.2	Corrosive sulphur compounds in oil	33
B.3	Detection of corrosive sulphur compounds in oils containing passivators	33
B.3.1	General	33
B.3.2	Procedure 1	34
B.3.3	Procedure 2.....	34
Annex C	(informative) Contamination of oils with silicone.....	35
Annex D	(informative) Transformer oil test equivalents	36
Bibliography		38
Figure A.1	– Syringes with and without copper.....	27
Figure A.2	– Stray gassing pattern 1	29
Figure A.3	– Stray gassing pattern 2	30
Figure A.4	– Stray gassing pattern 3	31

Figure A.5 – Stray gassing pattern 4	32
Table 1 – Meaning of the identifying letter codes in the ordering designation of mineral oil according to IEC 60296	14
Table 2 – Maximum viscosity and pour point of mineral insulating oil	16
Table 3 – General specifications, Type A (fully inhibited high grade oils)	21
Table 4 – General specifications, Type B (uninhibited and inhibited standard grade oils)	23
Table D.1 – Some transformer oil test equivalents	36

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60296:2020

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**FLUIDS FOR ELECTROTECHNICAL APPLICATIONS –
MINERAL INSULATING OILS FOR 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) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60296 has been prepared by IEC technical committee 10: Fluids for electrotechnical applications.

This fifth edition cancels and replaces the fourth edition published in 2012. This edition constitutes a technical revision.

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

- This International Standard is applicable to specifications and test methods for unused and recycled mineral insulating oils in the delivered state.
- Within the transformer insulating oils, two groups, Type A and Type B, are defined, based on their performance.
- A new method for stray gassing under thermo-oxidative stress of mineral insulating oils, which has been tested in a joint round robin test (RRT) between CIGRE D1 and IEC technical committee 10, has been included.

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

FDIS	Report on voting
10/1117/FDIS	10/1118/RVD

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

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

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60296:2020

INTRODUCTION

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

The mineral insulating oils which are the subject of this document should be handled in compliance with local regulations and suppliers safety data-sheets.

This document is applicable to mineral insulating oils, chemicals and used sample containers. The disposal of these items should be carried out according to local regulations with regard to their impact on the environment.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60296:2020

FLUIDS FOR ELECTROTECHNICAL APPLICATIONS – MINERAL INSULATING OILS FOR ELECTRICAL EQUIPMENT

1 Scope

This document provides specifications and test methods for unused and recycled mineral insulating oils (see Clause 3 for definitions). It applies to mineral oil delivered according to the contractual agreement, intended for use in transformers, switchgear and similar electrical equipment in which oil is required for insulation and heat transfer. Both unused oil and recycled oil under the scope of this document have not been used in, nor been in contact with electrical equipment or other equipment not required for manufacture, storage or transport.

Unused oils are obtained by refining, modifying and/or blending of petroleum products and other hydrocarbons from virgin feedstock.

Recycled oils are produced from oils previously used as mineral insulating oils in electrical equipment that have been subjected to re-refining or reclaiming (regeneration) by processes employed offsite. Such oils will have originally been supplied in compliance with a recognized unused mineral insulating oil specification. This document does not differentiate between the methods used to recycle mineral insulating oil. Oils treated on-site (see IEC 60422) are not within the scope of this document.

Oils with and without additives are both within the scope of this document.

This document does not apply to mineral insulating oils used as impregnating medium in cables or capacitors.

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 60422:2013, *Mineral insulating oils in electrical equipment – Supervision and maintenance guidance*

IEC 60475, *Method of sampling liquid dielectrics*

IEC 60567:2011, *Oil-filled electrical equipment – Sampling of gases and analysis of free and dissolved gases – Guidance*

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

IEC 60666:2010, *Detection and determination of specified additives in mineral insulating oils*

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

IEC 60970, *Insulating liquids – Methods for counting and sizing particles*

IEC 61125:2018, *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 61868, *Mineral insulating oils – Determination of kinematic viscosity at very low temperatures*

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 62535:2008, *Insulating liquids – Test method for detection of potentially corrosive sulphur in used and unused insulating oils*

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)*

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

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

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

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

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

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

ISO 3819, *Laboratory glassware – Beakers*

ISO 8754, *Petroleum products – Determination of sulphur content – Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry*

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

ISO 14596, *Petroleum products – Determination of sulphur content – Wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometry*

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

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

ASTM D6591, *Standard Test Method for Determination of Aromatic Hydrocarbon Types in Middle Distillates – High Performance Liquid Chromatography Method with Refractive Index Detection*

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

ASTM D7896, *Standard Test Method for Thermal Conductivity, Thermal Diffusivity and Volumetric Heat Capacity of Engine Coolants and Related Fluids by Transient Hot Wire Liquid Thermal Conductivity Method*

DIN 51353, *Testing of insulating oils; detection of corrosive sulphur; Silver strip test*

IP 346, *Determination of polycyclic aromatics in unused lubricating base oils and asphaltene free petroleum fractions – Dimethyl sulfoxide extraction refractive index method*

3 Terms and definitions

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

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

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

3.1

mineral insulating oil

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

Note 1 to entry: Mineral insulating oils include unused (3.8) and recycled (3.9) mineral insulating oils.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-02, modified – "for transformers and similar electrical equipment, (e.g. switchgear, tap-changers)" added, "crudes" replaced with "petroleum products and/or other hydrocarbons" and note to entry added.]

3.2

low temperature switchgear oil

mineral insulating oil for oil-filled switchgear for outdoor applications in very cold climatic conditions

3.3

additive

chemical substance that is added to mineral insulating oil in order to improve certain characteristics

EXAMPLES Antioxidants, metal passivators, metal deactivators, electrostatic charging tendency depressants, gassing tendency modifier, pour point depressants, anti-foam agents and refining process improvers.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-13, modified – "specific" replaced with "chemical", "an insulating material or liquid in small proportion" replaced with "mineral insulating oil" and examples added.]

3.4

antioxidant

oxidation inhibitor

additive incorporated in mineral insulating oil that improves oxidation stability

Note 1 to entry: DBPC = 2,6-di-tert-butyl-para-cresol; DBP = 2,6-di-tert-butyl-phenol.

Note 2 to entry: For the purposes of this document, the oxidation inhibitor is a synthetic chemical substance of the phenolic type, such as DBPC and DBP described in IEC 60666.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-14, modified – "an insulating material to reduce or delay degradation by oxidation" replaced with "mineral insulating oil that improves oxidation stability" and note replaced with notes to entry.]

3.4.1

other antioxidant additive

antioxidant additive of the sulphur-, amine- or phosphorous- type

Note 1 to entry: Sulphur-type additives do not include dibenzylsulphide (DBDS) or other potentially corrosive sulphur compounds.

3.4.2

passivator

additive used primarily as corrosion deactivator and sometimes as electrostatic charging depressant

Note 1 to entry: It can also improve the oxidation stability, by reducing the catalytic effect of copper on oxidation of the oil

3.5

uninhibited oil (U)

mineral insulating oil containing no oxidation inhibitor or other antioxidant additives

Note 1 to entry: No inhibitor means that the total inhibitor content is below the detection limit of 0,01 % indicated in IEC 60666.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-19, modified – In the term, deletion of "insulating", in the definition "antioxidant, but which may contain other additives" replaced with "oxidation inhibitor or other antioxidant additives" and note replaced with the note to entry.]

3.6

trace inhibited oil (T)

mineral insulating oil containing minimum 0,01 % and less than 0,08 % of total inhibitor content as measured in IEC 60666

3.7

inhibited oil (I)

mineral insulating oil containing a minimum of 0,08 % and a maximum of 0,40 % of total inhibitor content as measured in IEC 60666

3.8

unused mineral insulating oil (V)

mineral insulating oil, obtained by refining, modifying and/or blending of petroleum products and other hydrocarbons and that has not been used in, nor been in contact with electrical equipment or other equipment not required for manufacture, storage or transport

Note 1 to entry: In some countries unused mineral oil is described as virgin oil.

Note 2 to entry: The manufacturer and supplier of unused mineral insulating oil shall take reasonable precautions to ensure that there is no contamination with polychlorinated biphenyls or terphenyls (PCB, PCT) or other contaminants.

3.9

recycled mineral insulating oil (R)

mineral insulating oil previously used in electrical equipment that has been subjected to re-refining or reclaiming (regeneration) after removal from the electrical equipment

Note 1 to entry: Any blend of unused and recycled oils is to be considered as recycled.

Note 2 to entry: The characteristics of recycled oil are heavily dependent on the oil from which it was recycled, the original refining technique, the service history and the type of recycling process.

Note 3 to entry: Natural or added antioxidants originally present in the oil might have been depleted in service or removed by the recycling process. The oxidation stability therefore needs to be restored/improved and is usually achieved by the addition of an oxidation inhibitor.

Note 4 to entry: Such recycled oils are often produced from mixtures of mineral insulating oils of different origins. The manufacturer and supplier of recycled mineral insulating oil shall take reasonable precautions to ensure that there is no contamination with polychlorinated biphenyls or terphenyls (PCB, PCT) or other contaminants.

3.10

reclaimed mineral insulating oil

regenerated mineral insulating oil

recycled mineral insulating oil used in electrical equipment, which has been subjected after removal from the electrical equipment to chemical and physical processing to reduce soluble and insoluble contaminants

3.11

re-refined mineral insulating oil

recycled mineral insulating oil used in electrical equipment that has been removed from service and subjected to a process similar to that used for the production of unused mineral insulating oil from virgin feedstock, in order to reduce the level of undesired compounds

Note 1 to entry: Such re-refined oils are often produced from mixtures of mineral insulating oils of different origins including processes such as distillation and hydrogenation.

4 Properties of oil

4.1 General

Oil characteristics are listed in Table 2, Table 3 and Table 4 and in Clause 6 and Clause 7.

4.2 Functional properties

These are properties of oil that have an impact on its function as a liquid for insulation and heat transfer.

NOTE Functional properties include viscosity, density, pour point, water content, breakdown voltage, dielectric dissipation factor, as well as specific heat capacity, thermal conductivity and expansion coefficient.

4.3 Production and stability

These are properties of oil that are influenced by the quality and type of refining and additives.

NOTE 1 These can include appearance, interfacial tension, sulphur content, acidity, corrosive sulphur, potentially corrosive sulphur, 2-furfural and related compounds content and stray gassing.

NOTE 2 Properties like aromatic content, refractive index or/and distribution of aromatic type of compounds can provide valuable information on consistency of a certain oil product.

4.4 Performance

These are properties that are related to the long-term behaviour of oil in service and/or its reaction to high electrical or thermal stresses. In terms of performance, transformer insulating oils are divided into Type A (Table 3) and Type B (Table 4).

4.5 Health, safety and environment (HSE) properties

These are oil properties related to safe handling and environmental protection.

NOTE Examples can include flash point, density, PCA (polycyclic aromatics) and PCB/PCT (polychlorinated biphenyls/ terphenyls) content.

5 Classification, labelling, identification, general delivery requirements and sampling

5.1 Classification and labelling

5.1.1 Classes

For the purposes of this document, mineral insulating oils are classified into two classes:

- transformer oils;
- low temperature switchgear oils.

Within the transformer oils two groups of oils are defined: Type A (Table 3) and Type B (Table 4).

Type A insulating oils are fully inhibited ("I" according to 5.1.2) and deliver higher oxidation stability than Type B.

Type B insulating oils can be uninhibited ("U"), trace inhibited ("T") or fully inhibited ("I") and deliver good resistance to oil degradation and provide good oxidation stability.

Inhibitor concentration for inhibited oil in service needs to be monitored and eventually maintained. This is described in IEC 60422.

NOTE During base oil refining some components such as aromatic and polycyclic aromatic compounds are removed depending on the severity and type of refining process.

Uninhibited oils are typically made from base oil(s) with the aim to retain a balance of removable components, some of which are easily oxidized, while others provide some protection against the normal oxidation process. The refining process is optimized to retain certain sulphur and aromatic compounds which act as natural antioxidants. However, since the natural antioxidants are not as effective as synthetic antioxidants, the uninhibited oils will exhibit less oxidative stability compared to inhibited oils.

Uninhibited oil contains a certain amount of so called natural antioxidants, some of them present from the beginning (mostly sulphur-containing acting as secondary antioxidants), others being formed as intermediates by oxidative processes (mostly oxidation of aromatic compounds then acting as radical scavengers). Inhibited oil is a blend of base oil(s) with a synthetic antioxidant. The additive response and the resulting oxidation stability of the inhibited oil depends very much on the refining severity. The antioxidant is added to control the oxidation processes. The inhibitor acts as radical scavenger and protects the base oil hydrocarbons – depending on the degree of refining – from oxidation. Oils with very high oxidative stability are inhibited oils and can be achieved by blending very severely treated base oil and antioxidant.

5.1.2 Antioxidant (oxidation inhibitor) content

Mineral insulating oils are classified into three groups, according to the content of antioxidant additive:

- uninhibited mineral insulating oils: marked with U;
- trace inhibited mineral insulating oils: marked with T;

- inhibited mineral insulating oils: marked with I.

5.1.3 Lowest cold start energizing temperature (LCSET)

LCSET shall be $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified. If a different LCSET is specified it shall be chosen from values of Table 2.

5.1.4 Labelling and ordering designation

For the purpose of declaration, mineral insulating oils shall be labelled as:

V: unused mineral insulating oil as defined in 3.8.

R: recycled mineral insulating oil as defined in 3.9.

The ordering designation for insulating oil according to IEC 60296 shall follow the order: Equipment/Declaration/Type/Antioxidant according to the scheme in Table 1.

Table 1 – Meaning of the identifying letter codes in the ordering designation of mineral oil according to IEC 60296

First Letter = Equipment	T – Transformer	S – Switchgear	
Second Letter = Declaration	V – Unused (Virgin)	R – Recycled	
Third Letter = Type	A – Specification Type A	B – Specification Type B	
Fourth Letter = Antioxidant	I – inhibited	U – uninhibited	T – trace inhibited

EXAMPLE 1 For order for inhibited high grade recycled oil for transformers: **TRAI**.

EXAMPLE 2 For order for uninhibited unused oil for transformers: **TVBU**.

EXAMPLE 3 For order for inhibited high grade unused oil for switchgear: **SVAI**.

EXAMPLE 4 For order for trace inhibited recycled oil for switchgear: **SRBT**.

Mineral insulating oils with non-standard specification such as LCSET, pour point etc. shall be declared separately.

5.2 Requirements

General requirements of this document are given in Table 3 and Table 4.

Additional properties are defined under Clause 7.

5.3 Miscibility and compatibility

Mineral oils according to this document are generally considered miscible and compatible if the characteristics of their mixture are not less favourable than those of the worst individual oil.

All mineral insulating oils according to this document are physically miscible with each other and are considered to result, after homogenization, in a single homogeneous phase and without precipitation of insoluble substances, or formation of turbidity. The mixture, however, can show different properties, for example density, viscosity, total sulphur content, oxidation stability or stray gassing from the original oils.

Mineral insulating oils of the same class and type (5.1.1), the same group (5.1.2), same LCSET (5.1.3) and containing the same types of additives are considered to be compatible with each other in mixtures up to 10 % with no need for additional testing.

If oils of different class or type (5.1.1), or group (5.1.2), or LCSET (5.1.3) or type of additives are mixed, the resulting mixture shall be classified and tested according to this document, see Table 3 and Table 4.

A procedure to perform miscibility tests in service and a set of recommended investigations are described in IEC 60422:2013, 5.12.

5.4 Identification and general delivery requirements

Identification and general delivery requirements are as follows:

- a) Oil is normally delivered in bulk, rail tank cars, tank containers or packed in drums or intermediate bulk containers (IBC). These shall be clean and suitable for this purpose to avoid any contamination. The supplier shall take all precautions to ensure the delivery product will be in accordance with the requirements of this document.
- b) All types of oil containers shall carry at least the following markings:
 - supplier's designation;
 - classification and labelling (see 5.1);
 - oil quantity.
- c) As agreed between the supplier and purchaser each oil delivery may be accompanied by a document specifying the supplier's designation, oil classification and labelling and compliance certificate.
- d) The supplier shall declare the chemical family and function of all additives, and the concentrations in the cases of antioxidants and passivators.
- e) A delivery shall be traceable to a manufactured batch.

5.5 Sampling

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

6 Properties, their significance and test methods

6.1 Viscosity

Viscosity influences heat transfer and therefore the temperature rise of the equipment. Higher viscosities may impede the flow of oil and reduce the heat transfer performance. At low ambient temperatures, the resulting higher viscosity of oil is a critical factor for the cold start of transformers with poor or no circulation of oil and this may lead to overheating at hot spots in the transformer windings. Higher viscosity at low temperatures may also reduce the speed of moving parts in equipment such as power circuit breakers, switchgear, on-load tap-changer mechanisms, pumps and regulators. The viscosity at the lowest cold start energizing temperature (LCSET) for transformers shall not exceed 1 800 mm²/s at –30 °C. This lowest cold start energizing temperature (LCSET) for mineral insulating oils is defined in this document as being –30 °C. Other LCSETs (see Table 2) can be agreed between supplier and purchaser.

Low temperature switchgear oil should have a lower viscosity at LCSET: maximum 400 mm²/s. Standard LCSET of low temperature switchgear oil is defined at –40 °C but other LCSETs may be agreed between supplier and purchaser.

Table 2 – Maximum viscosity and pour point of mineral insulating oil

Application	LCSET °C	Maximum viscosity mm ² /s	Maximum pour point °C
Transformer	0	1 800	–10
Transformer	–20	1 800	–30
Transformer	–30	1 800	–40
Transformer low ambient temperature application	–40	2 500 ^a	–50
Low ambient temperature switchgear	–40	400 ^a	–60
^a For low ambient temperature applications. In other cases the value shall be discussed between the user and manufacturer.			

Viscosity shall be measured according to ISO 3104 (reference method) or ASTM D7042, and viscosity at –40 °C for low temperature oils according to IEC 61868.

Viscosity should also be taken into account when designing protection level, flow control and switching equipment.

6.2 Pour point

The pour point of mineral insulating oil is the lowest temperature at which the oil will just flow. It is recommended that the pour point should be at least 10 °C below the lowest cold start energizing temperature (LCSET). If a pour point depressant additive is used, this shall be declared by the supplier to the user. Pour point shall be measured in accordance with ISO 3016.

6.3 Water content

A low water content of mineral insulating oil is necessary to achieve adequate breakdown voltage and low dissipation losses. To avoid separation of free water, mineral insulating oil as delivered should have limited water content. Before filling the electrical equipment, the oil shall be treated to meet the requirements of IEC 60422 when inside the transformer. Water content shall be measured in accordance with IEC 60814.

6.4 Breakdown voltage

The breakdown voltage of mineral insulating oil indicates its ability to resist electrical stress in electrical equipment. Breakdown voltage shall be measured in accordance with IEC 60156. The supplier shall demonstrate after treatment to reduce particles, water and dissolved air by a vacuum procedure (see note), that the oil shall have a high dielectric strength (breakdown voltage > 70 kV).

NOTE This treatment referred to consists of filtration of the oil at 60 °C by vacuum (pressure below 2,5 kPa) through a sintered glass filter (with a maximum pore size of 2,5 µm).

6.5 Density

In cold climates, the density of the oil shall be low enough to prevent any ice resulting from the freezing of free water to float and possibly lead to fault conditions developing such as flashover of conductors. Density should also be taken into account when designing protection, flow and control equipment, for example devices which rely on buoyancy principles like the Buchholz relay. Density shall be measured in accordance with ISO 12185 (reference method), ISO 3675 and ASTM D7042 are acceptable.

6.6 Dielectric dissipation factor (DDF)

DDF is a measure for dielectric losses within the oil. DDF values above the requirements of Table 3 and Table 4 can indicate contamination of the oil by polar contaminants or poor refining quality. DDF shall be measured in accordance with IEC 60247 (reference method) or IEC 61620 at 90 °C.

NOTE By agreement between parties, DDF can be measured at temperatures other than 90 °C.

6.7 Colour and appearance

The colour of an insulating oil 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.

A visual inspection of insulating oil (oil sample in transmitted light under a thickness of approximately 10 cm and at ambient temperature) will indicate the presence of visible contaminants, free water or suspended matter.

6.8 Acidity

Mineral insulating oil shall be free from any acidic compound. Acidity shall be measured according to IEC 62021-2 (reference method) or IEC 62021-1.

6.9 Interfacial tension (IFT)

Low IFT indicates the presence of polar compounds. IFT shall be measured in accordance with IEC 62961 (reference method) or ASTM D971.

6.10 Sulphur content

Different organo-sulphur compounds can be present in mineral oils, dependent on the crude oil origin and the degree and type of refining. Refining reduces the content of sulphur and aromatic hydrocarbons. As some naturally present sulphur compounds have an affinity to metals, they may act as natural oxidation inhibitors or they may promote corrosion.

Total sulphur content analysis is a requirement for mineral oils of Type A (Table 3).

Total sulphur content shall be measured following ISO 14596 (reference method) or ISO 8754.

6.11 Corrosive and potentially corrosive sulphur

Some sulphur compounds, for example mercaptans, are very corrosive to metal surfaces, i.e. steel, copper and silver and shall not be present in oil as delivered. This type of corrosive sulphur shall be detected following DIN 51353.

Some other sulphur compounds, for example dibenzylidisedisulphide (DBDS), may result in the deposition of copper sulphide (Cu_2S) in paper insulation, reducing its electrical insulation properties (see Annex B). This has resulted in several equipment failures in service.

IEC 62535, based on work performed by CIGRE WG A2.32, provides the best currently available method to detect potentially corrosive sulphur compounds in oil. It applies only to oils that do not contain a metal passivator additive (declared or undeclared).

For passivator-containing oils, see Clause B.3.

6.12 Additives (see 3.3)

6.12.1 General

The chemical family and function of all additives shall be declared in product data sheets and certificates of compliance. For antioxidant additives and passivators, their concentrations shall also be stated.

6.12.2 Antioxidants (see 3.4)

Antioxidants slow down the oxidation of oil and therefore the formation of degradation products such as sludge and acids. It is useful to know whether and in what proportion antioxidant additives have been added in order to monitor additive depletion during service.

Additives that slow down the oxidation of mineral insulating oils include:

- oxidation inhibitors such as phenols. The most widely used oxidation inhibitors are DBPC and DBP (see 3.4). Detection and measurement of DBPC and DBP shall be carried out in accordance with IEC 60666. IEC test methods are not available for other types of inhibitors.
- other antioxidant additives such as sulphur-, amine- and phosphor- containing compounds, for example organic polysulphides and dithiophosphates (see 3.4.1). An antioxidant additive of this type is DBDS (see 6.18), but it is forbidden as it is known to be potentially corrosive to copper and will likely result in the oil failing the potentially corrosive sulphur test of IEC 62535.
- metal passivators (see 3.4.2).

6.12.3 Metal passivators

Some of these additives form thin films on copper, preventing the catalytic effect of copper in oil and the formation of harmful copper sulphide deposits in paper generated by the reaction of corrosive sulphur compounds in the oil with copper. Some of them protect the oil from the catalytic action of metals and slow down the rate of oxidation of oil. Passivators therefore slow down the oxidation process in IEC 61125 as they passivate the surface of the catalysing copper-wire, thus leading to an optimistic result of the oxidation stability test. Some of them are also used to modify the electrostatic charging tendency of oils (see 7.2).

Three main types of benzotriazole derivatives are typically used as metal passivator additives: N-bis(2-ethylhexyl)-aminomethyl-tolutriazole (TTAA), benzotriazole (BTA) and 5-methyl-1H-benzotriazole (TTA). Detection and measurement of these additives shall be according to IEC 60666.

Several other compounds can be used as metal passivator additives, such as N,N-bis(2-ethylhexyl)-1H-1,2,4-triazole-1 methanamine (TAA), diamino-diphenyldisulphide, nicotinic acid, hydroquinoline and other sulphur-based compounds, for which no IEC test methods are available¹.

6.12.4 Pour point depressants

These additives are used to improve the pour point and viscosity of oils at very low temperatures. Detection and measurement of the two main types of pour point depressant additives used (polynaphthalenes and polymethacrylates) shall be carried out according to IEC 60666.

¹ Examples of commercially available TTAA and TAA are Irgamet® 39 and Irgamet® 30, respectively. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by the IEC of these products.

6.13 Oxidation stability

Oxidation of oil gives rise to acidity and sludge formation. This can be reduced by using oils with a high oxidation stability thus minimizing sludge deposition and maximizing insulation life. Oxidation stability is tested in accordance with IEC 61125 and the limits are indicated in Table 3 and Table 4. There is an option for stricter limits for special applications. In some countries more stringent limits and/or additional requirements and tests may be requested.

Test durations for oils containing phenolic inhibitors shall be as indicated in Table 3 and Table 4. Test duration for oils containing other antioxidant additives and metal passivators shall be 500 h.

Passivator-containing oils shall be tested for oxidation stability before the passivator additive has been added to the oil, using the test durations of Table 3 and Table 4.

6.14 Flash point

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

6.15 Polycyclic aromatics (PCAs) and polyaromatic hydrocarbons (PAHs)

Some PCAs are classified as carcinogens and therefore need to be controlled to an acceptable level in mineral insulating oil. PCAs are evaluated under the conditions of IP 346 after extraction with dimethyl sulfoxide (DMSO). Mineral insulating oils shall be considered as non-carcinogenic if PCA content (measured by IP 346 method) is below 3 %.

Benzo(a)pyrene (BaP) and some other polyaromatic hydrocarbons (PAHs) have been classified as carcinogenic, mutagenic and toxic to reproduction and can be measured according to EN 16143.

NOTE Acceptable limits of total or individual PCAs and PAHs are specified in some national and local regulations, e.g. REACH (<https://www.echa.europa.eu/candidate-list-table>).

6.16 Polychlorinated biphenyl content (PCBs)

Mineral insulating oil shall be free from PCBs. The reference test method is IEC 61619.

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

6.17 2-furfural (2-FAL) and related compounds content

2-FAL and related compounds in mineral insulating oils can result either from improper re-distillation after solvent extraction during refining or re-refining or from contamination with used oil.

Mineral insulating oils should have a low level of 2-FAL and related compounds; measurement shall be carried out according to IEC 61198.

NOTE Related compounds are: 5-hydroxymethyl-2-furfural (5HMF), 2-furfuryl alcohol (2FOL), 2-acetylfuran (2ACF) and 5-methyl-2-furfural (5MEF).

Furanic compounds are by-products of insulating paper aging in oil filled transformers. Monitoring furanic content of oil samples taken from in-service transformers can be used as an indication of paper aging. Therefore it is important to have supplied insulating oil free from 2-furfural content.

6.18 DBDS content

This compound is potentially corrosive at normal transformer operating temperatures and can produce copper sulphide. It therefore shall not be present in mineral insulating oil. The test method for measuring DBDS shall be in accordance with IEC 62697-1.

6.19 Stray gassing under thermo-oxidative stress

Stray gassing under thermo-oxidative stress (called stray gassing in this document) describes the development of gases in an insulating liquid in-service under temperatures considered usual for normal operating conditions (IEC 60076-7), due to its constituents and not connected to an internal fault in the electrical equipment. Various kinds of gassing have been observed, for example hydrogen, methane, ethane or a combination of these gases. Stray gassing is accelerated by oxygen content and copper availability as well as by temperature. Nevertheless, it has been observed both in open breathing and sealed equipment.

Stray gassing can be caused for different reasons, for example refining, additives. The definition used here for stray gassing does not include the influence of incompatible materials on the gassing of oil. In reality, however, outgassing of paints or some types of cross-linked polyethylene (XLPE), as well as other incompatible materials can contribute to gas formation not related to internal faults. The method used in this document and described in Annex A does not consider this, since the compatibility of materials is a responsibility of the equipment manufacturer.

A dissolved gas analysis (DGA) has been developed as a tool recognizing faulty conditions in liquid insulated electrical equipment. The most common evaluation schemes, however, may not distinguish between this kind of stray gassing and certain kinds of fault and therefore can lead to misinterpretation.

It is therefore useful to have a method characterizing the stray gassing behaviour (under thermo-oxidative stress) of a certain oil. In practice, gas due to stray gassing only has not been proven to be harmful to the equipment and it usually levels off with time. The proposed method provides useful information to help users differentiate between genuine fault conditions in an electrical equipment and stray gassing due to thermo-oxidative stress. This characterization should be considered when users select an oil for equipment so that it forms part of the supporting information when DGA is done.

The method used in this document and described in Annex A is suitable for oil insulated electrical equipment with copper windings. The gas patterns may be somewhat different if copper windings are in reality enamelled or made out of aluminium conductors. It implements a temperature of 105 °C, which is the highest permissible top oil temperature at normal cyclic loading according to IEC 60076-7 for the duration of 48 h (it has been shown that longer incubation times do not increase the significance of results) in the presence of copper (copper enhances the radical formation and is a metal used for the windings in the majority of electrical equipment).

The incubation at 105 °C can be carried out with air or nitrogen saturated oil with and without the presence of copper. Testing under all these conditions can be beneficial for qualifying a new oil.

The results of the RRT showed that the most severe condition for gas formation is under air saturated oil in the presence of copper. The limits reported in Table 3 are based on the testing under this condition.

Table 3 – General specifications, Type A (fully inhibited high grade oils)

Property	Test method	Limits	
		Transformer oil	Low temperature switchgear oils
1 – Function			
Viscosity at 40 °C	ISO 3104 ^a or ASTM D7042	Max. 12 mm ² /s	Max. 3,5 mm ² /s
Viscosity at –30 °C ^b	ISO 3104 ^a or ASTM D7042	Max. 1 800 mm ² /s	–
Viscosity at –40 °C ^c	IEC 61868	–	Max. 400 mm ² /s
Pour point	ISO 3016	Max. –40 °C	Max. –60 °C
Water content	IEC 60814	Max. 30 mg/kg ^d / 40 mg/kg ^e	
Breakdown voltage	IEC 60156	Min. 30 kV / 70 kV ^f	
Density at 20 °C	ISO 12185 ^a or ISO 3675 or ASTM D7042	Max. 895 kg/m ³	
DDF at 90 °C	IEC 60247 ^a or IEC 61620	Max. 0,005	
2 – Refining/stability			
Colour	ISO 2049	L0,5 (less than 0,5)	
Appearance	–	Clear, free from sediment and suspended matter	
Acidity	IEC 62021-2 ^a or 62021-1	Max. 0,01 mg KOH/g	
Interfacial tension	IEC 62961 ^a or ASTM D971	Min. 43 mN/m	
Total sulphur content	ISO 14596 ^a or ISO 8754	Max. 0,05 %	
Corrosive sulphur	DIN 51353	Not corrosive	
Potentially corrosive sulphur	IEC 62535	Not corrosive	
DBDS	IEC 62697-1	Not detectable (< 5 mg/kg)	
Inhibitors of IEC 60666	IEC 60666	(I) Inhibited oil: 0,08 % to 0,40 % (see 3.7)	
Metal passivator additives of IEC 60666	IEC 60666	Not detectable (< 5 mg/kg), or as agreed upon with the purchaser	
Other additives		See ^g	
2-furfural and related compounds content	IEC 61198	Not detectable (< 0,05 mg/kg) for each individual compound	
Stray gassing under thermo-oxidative stress	Procedure in Clause A.4 (oil saturated with air) in the presence of copper	Non stray gassing: < 50 µl/l of hydrogen (H ₂) and < 50 µl/l methane CH ₄) and < 50 µl/l ethane (C ₂ H ₆)	
3 – Performance			
Oxidation stability	IEC 61125: Test duration (I) Inhibited oil: 500 h	For oils with other antioxidant additives and metal passivator additives, see 6.12.2	
– Total acidity ^h	4.8.4 of IEC 61125:2018	Max. 0,3 mg KOH/g	
– Sludge ^h	4.8.1 of IEC 61125:2018	Max. 0,05 %	
– DDF at 90 °C ^h	4.8.5 of IEC 61125:2018	Max. 0,050	
4 – Health, safety and environment (HSE) ⁱ			
Flash point	ISO 2719	Min. 135 °C	Min. 100 °C
PCA content ^l	IP 346	< 3 %	
PCB content	IEC 61619	Not detectable (< 2 mg/kg)	

- ^a Reference method.
- ^b This is the standard LCSET for a transformer oil (see 6.1) and can be modified depending on the climatic condition of each country. Pour point should be minimum 10 °C below LCSET.
- ^c Standard LCSET for low temperature switchgear oil.
- ^d For bulk supply.
- ^e For delivery in drums and IBC.
- ^f After laboratory treatment (see 6.4).
- ^g The supplier shall declare the chemical family and function of all additives (3.3), and the concentrations in the cases of inhibitors, antioxidants and passivators (3.4).
- ^h At the end of oxidation stability tests.
- ⁱ In some countries there can be additional requirements, e.g. REACH in the EU.
- ^j Some individual PAH compounds can be determined by EN 16143.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60296:2020

Table 4 – General specifications, Type B (uninhibited and inhibited standard grade oils)

Property	Test method	Limits	
		Transformer oil	Low temperature switchgear oils
1 – Function			
Viscosity at 40 °C	ISO 3104 ^a or ASTM D7042	Max. 12 mm ² /s	Max. 3,5 mm ² /s
Viscosity at –30 °C ^b	ISO 3104 ^a or ASTM D7042	Max. 1 800 mm ² /s	–
Viscosity at –40 °C ^c	IEC 61868	–	Max. 400 mm ² /s
Pour point	ISO 3016	Max. –40 °C	Max. –60 °C
Water content	IEC 60814	Max. 30 mg/kg ^d / 40 mg/kg ^e	
Breakdown voltage	IEC 60156	Min. 30 kV / 70 kV ^f	
Density at 20 °C	ISO 12185 ^a or ISO 3675 or ASTM D7042	Max. 895 kg/m ³	
DDF at 90 °C	IEC 60247 ^a or IEC 61620	Max. 0,005	
2 – Refining/stability			
Colour	ISO 2049	Max. 1,5	
Appearance	–	Clear, free from sediment and suspended matter	
Acidity	IEC 62021-2 ^a or 62021-1	Max. 0,01 mg KOH/g	
Interfacial tension	IEC 62961 ^a or ASTM D971	Min. 40 mN/m	
Corrosive sulphur	DIN 51353	Not corrosive	
Potentially corrosive sulphur	IEC 62535	Not corrosive	
DBDS	IEC 62697-1	Not detectable (< 5 mg/kg)	
Inhibitors of IEC 60666	IEC 60666	Uninhibited (U): not detectable (< 0,01 %) Trace inhibited (T): ≥ 0,01 < 0,08% Inhibited oil (I): 0,08 % to 0,40 % (see 3.5 to 3.7)	
Metal passivator additives of IEC 60666	IEC 60666	Not detectable (< 5 mg/kg), or as agreed upon with the purchaser	
Other additives		See ^g	
2-furfural and related compounds content	IEC 61198	Not detectable (< 0,05 mg/kg) for each individual compound ^h	
3 – Performance			
Oxidation stability	IEC 61125 Test duration ⁱ (U) Uninhibited oil: 164 h (T) Trace inhibited oil: 332 h (I) Inhibited oil: 500 h	For oils with other antioxidant additives and metal passivator additives, see 6.12.2	
– Total acidity ^j	4.8.4 of IEC 61125:2018	max. 1,2 mg KOH/g	
– Sludge ^j	4.8.1 of IEC 61125:2018	max. 0,8 %	
– DDF at 90 °C ^j	4.8.5 of IEC 61125:2018	max. 0,500	
4 – Health, safety and environment (HSE) ^k			
Flash point	ISO 2719	Min. 135 °C	Min. 100 °C
PCA content ^l	IP 346	< 3 %	
PCB content	IEC 61619	Not detectable (< 2 mg/kg)	

Stray gassing under thermo-oxidative stress (see 6.19) is not included as a normative test for mineral oils Type B, because there has been insufficient data to determine appropriate limits. The requirement for a stray gassing test, as well as the limit values, if stipulated, can be negotiated between the user and supplier.

- a Reference method.
- b This is the standard LCSET for a transformer oil (see 6.1) and can be modified depending on the climatic condition of each country. Pour point should be minimum 10 °C below LCSET.
- c Standard LCSET for low temperature switchgear oil.
- d For bulk supply.
- e For delivery in drums and IBC.
- f After laboratory treatment (see 6.4).
- g The supplier shall declare the function and chemical family of all additives (3.3), and the concentrations in the cases of inhibitors antioxidants and passivators (3.4).
- h In agreement with the customer, oils with a higher furfural content can be delivered, when these values do not jeopardize the application.
- i In some countries there can be lower requirements for oxidation stability.
- j At the end of oxidation stability tests.
- k In some countries there can be additional requirements, e.g. REACH in the EU.
- l Some individual PAH compounds can be determined by EN 16143.

7 Additional properties

7.1 General

Determination of properties such as electrostatic charging tendency, gassing tendency, thermal properties may be required for certain applications. Where required such measurements shall be performed according to a given standard and with specific limits, negotiated between supplier and user.

7.2 Electrostatic charging tendency (ECT)

ECT of oil is an important property for certain designs of high voltage (HV) and extra-high voltage (EHV) transformers which have oil pumping rates that can give rise to the build-up of electrostatic charge. This charge can result in energy discharge causing transformer failure.

NOTE A method to measure ECT is proposed by CIGRE Technical Brochure 170. It has been reported that ECT can be modified by using metal passivator additives such as BTA and TTA.

7.3 Gassing tendency

Gassing tendency describes oil capability to absorb or evolve gases when subjected to electrical stress and ionisation under specified laboratory conditions. A low gassing tendency is preferred by some users for special equipment such as HV instrument transformers and bushings. Gas absorption properties may be related to oil aromatic content. Gassing tendency shall be measured using Method A of IEC 60628:1985.

NOTE 1 Additives such as 1,2,3,4- tetrahydronaphtalene (tetralin), mono or dibenzyltoluene and others have been proposed to reduce the gassing tendency of some oils, but are not described in IEC 60666. Mono and dibenzyltoluene are described in IEC 60867.

NOTE 2 If requested by the purchaser, gassing tendency according to IEC 60628 can be agreed upon between the supplier and purchaser of the oil.

7.4 Thermal properties

The thermal performance of an oil-filled electrical equipment requires knowledge of the oil thermal characteristics like thermal conductivity, specific heat capacity, thermal expansion coefficient. They are, however, not to be considered as acceptance, but as design parameters. Thermal conductivity measures temperature change across a liquid sample for a known amount of energy input and can be tested according to ASTM D7896. Specific heat capacity measures the capacity of oil to absorb thermal energy and is tested according to ASTM E1269. Thermal expansion coefficient is determined according to ASTM D1903.

7.5 Properties connected with consistency (aromatic content, distribution of PAHs, refractive index)

Mineral oils contain different kinds of aromatic structures, mono-, di-, tri- and polyaromatic. The amount of aromatics, measured according to IEC 60590, as well as their distribution (mono-, di-, tri- and polyaromatics, to be measured according to ASTM D6591) is typical for a certain oil product and can provide valuable information on its constitutional continuity over time. The same is valid for the refractive index, which is related to the oil constitution and the refining process and can be determined according to DIN 51423-1 (reference method) or ASTM D1218.

7.6 Lubricating properties

Mechanical equipment, such as tap-changers immersed and operating in the insulating liquid, require sufficiently good lubricating properties of the liquid, which can be tested according to DIN 51350-3 (reference method) or ASTM D4172.

7.7 Particle content

Particles in mineral insulating oil may result from manufacturing, storage or handling of the oil, and may affect its breakdown voltage (see 6.4). Particles and moisture content act in a synergic way on the breakdown strength. Measurement shall be carried out according to IEC 60970.

NOTE Particle content in drums at delivery of oil can be agreed between supplier and customer, based on a statistical reference at delivery.

7.8 Foaming

Contaminations with silicone, phthalates or other surface-active chemicals or oils can cause undesired foaming – see Annex C.

7.9 Transformer oil test equivalents

Some transformer oil test equivalents are presented in Annex D, Table D.1.

Annex A (normative)

Method for stray gassing under thermo-oxidative stress

A.1 Overview of the method

The procedure described according to Clauses A.2 to A.7 has been established by a joint work of CIGRE working group D1.70 and IEC technical committee 10 and submitted to a round robin test to evaluate its robustness. Eighteen laboratories participated in the RRT that was conducted on a set of mineral insulating oils of different nature and origin.

Clause A.8 provides a summary of the outcome of the RRT.

According to this procedure, a representative sample of mineral oil is subjected to the following incubation procedures:

- A first portion of sample oil saturated with air (as described in Clause A.4), a second portion of sample oil saturated with nitrogen (as described in Clause A.5) are used.
- 2 aliquots of both saturated samples are incubated, at 105 °C for 48 h, in glass syringes, one filled with oil only, the second with copper in contact with the oil.
- Finally, a DGA according to IEC 60567 is performed on each incubated sample.

A.2 Required materials

Performing this test procedure requires the following materials and/or chemical reagents:

- ventilated oven, able to maintain a temperature of (105 ± 2) °C;
- 100 ml syringes, suitable for DGA (see specific requirements in IEC 60475). They shall be of good quality and have a good gas tightness to avoid gas leakage during the incubation time and later;
- 3-way metal stopcock (chrome plated brass, stainless steel, or equivalent);
- beaker 250 ml according to ISO 3819;
- copper foil, 0,25 mm thickness, purity 99,89 % or higher;
- high vacuum silicone grease;
- dry air, free of hydrocarbons;

NOTE 1 Synthetic air (purity > 99,999 %) for gas chromatography is suitable.

- dry nitrogen, free of oxygen and hydrocarbons.

NOTE 2 Nitrogen (purity > 99,999 %) for gas chromatography is suitable.

A.3 Pretreatment of syringes

Syringes shall be clean and dried prior to this pretreatment.

Treat the upper part of the piston (close to the handle) with high vacuum silicone grease, dispersing a thin, uniform layer of silicone around the entire circumference of the piston.

Immerse the lower part of the piston in a sub-sample of the liquid to be tested, avoiding the contact between the oil sample and the grease. The sub-sample of the test liquid is not to be used further since it is likely to have been in contact with the grease.

A.4 Procedure A: stray gassing under oxidative conditions (high oxygen content)

A.4.1 Pretreatment of mineral oil

Place a suitable volume of the sample oil in a beaker, and purge it with air to ensure saturation. The prepared oil shall be sufficient to fill two syringes with 50 ml to 60 ml of oil, one with copper foils inside, the second without copper (oil only).

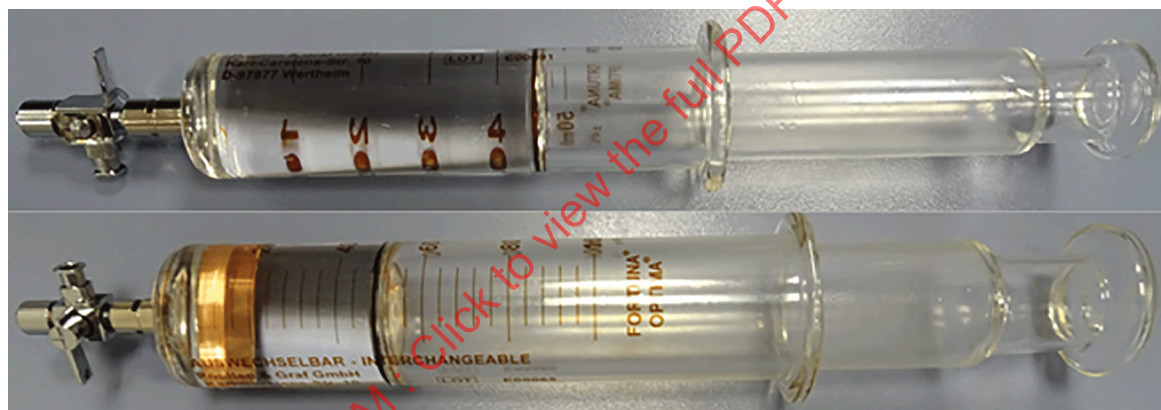
NOTE The oil sample is not filtered or vacuum treated in the laboratory prior to purging.

A.4.2 Filling syringes with mineral oil

Prepare two syringes according to Clause A.3. In one of the two, place two copper foils, cut and when required folded in a shape that allows their introduction into the syringe without occluding the ingress of the oil from the tip (see Figure A.1). The total surface of copper shall be 9,6 cm² to 10 cm². Copper shall be prepared before use, as described in the standard for oxidation stability IEC 61125.

Fill both syringes with 50 ml to 60 ml with oil.

Firmly close each syringe with the metal 3-ways stopcock.



IEC

Figure A.1 – Syringes with and without copper

A.4.3 Incubation procedure

Place the syringes in the ventilated oven, in vertical (or semi-vertical) position, with piston up and laying on the stopcock.

NOTE The vertical positioning limits the gas leakages from the tip of the syringe.

Keep the syringes at 105 °C, for a duration of (48 ± 0,5) h.

A.4.4 Dissolved gas analysis

After cooling the syringes to room temperature, perform the dissolved gas analysis (DGA, according to IEC 60567) on the tested oils.

A.5 Procedure B: stray gassing under inert conditions (low oxygen content)

Perform all steps from A.4.1 to A.4.4, after purging the oil with nitrogen instead of air.

A.6 Reporting

A.6.1 Test report

Report all gases measured in the applied conditions of incubation, indicating each gas to the nearest $\mu\text{l/l}$ according to IEC 60567.

A.6.2 Evaluation of the stray gassing behaviour of the oil

For a general assessment and classification of a new type of oil, it is recommended to run the test with both procedures A and B, with and without copper. For a verification of a new batch of oil, testing with procedure A with copper can be sufficient.

The oil is evaluated as "non stray gassing" if, after incubation under all the tested conditions, none of the following gases exceeds $50 \mu\text{l/l}$:

- hydrogen;
- methane;
- ethane.

Otherwise, the oil is evaluated as "stray gassing" if, after incubation under at least one of the tested conditions, at least one of the following gases exceeds $50 \mu\text{l/l}$:

- hydrogen;
- methane;
- ethane.

NOTE Although carbon monoxide and carbon dioxide show trends in case of stray gassing as well, their evaluation is more difficult to assess, since a certain impact of these gases in real equipment is due to the solid insulation.

A.7 Precision data

A.7.1 General

Precision data were evaluated within CIGRE WG D1.70, with a round robin test.

A.7.2 Repeatability

In a limited set of experiments, the standard deviation of three replications performed in the same laboratory, by the same operator, and on the same sample, was estimated in the range:

$$8 \% < \text{standard deviation} < 25 \%$$

for final gas concentrations over $25 \mu\text{l/l}$ of hydrogen, methane or ethane.

NOTE The repeatability estimated for this test method includes the repeatability of the DGA measurement performed after incubation. For information about the repeatability of DGA, see IEC 60567.

A.7.3 Reproducibility

The standard deviation of the round robin test, where the same sample was tested by different laboratories ($n = 18$), was estimated in the range:

$$30 \% < \text{standard deviation} < 80 \%$$

for final gas concentrations over $25 \mu\text{l/l}$ of hydrogen, methane or ethane.

NOTE The reproducibility estimated for this test method includes the reproducibility of the DGA measurement performed after incubation. For information about the reproducibility of DGA, see IEC 60567.

Despite the high spread of individual results (for different gases, under different incubation conditions), the results of the RRT in terms of estimation of an oil as "stray gassing" or "non stray gassing" were the following:

- Occurrence of false negatives (laboratories casting an oil as "non stray gassing" when the majority of the results cast the oil as "stray gassing"): 1 or 2 cases out of 18 laboratories.
- Occurrence of false positives (laboratories casting an oil as "stray gassing" when the majority of the results cast the oil as "non stray gassing"): none.

A.8 Results of the RRT

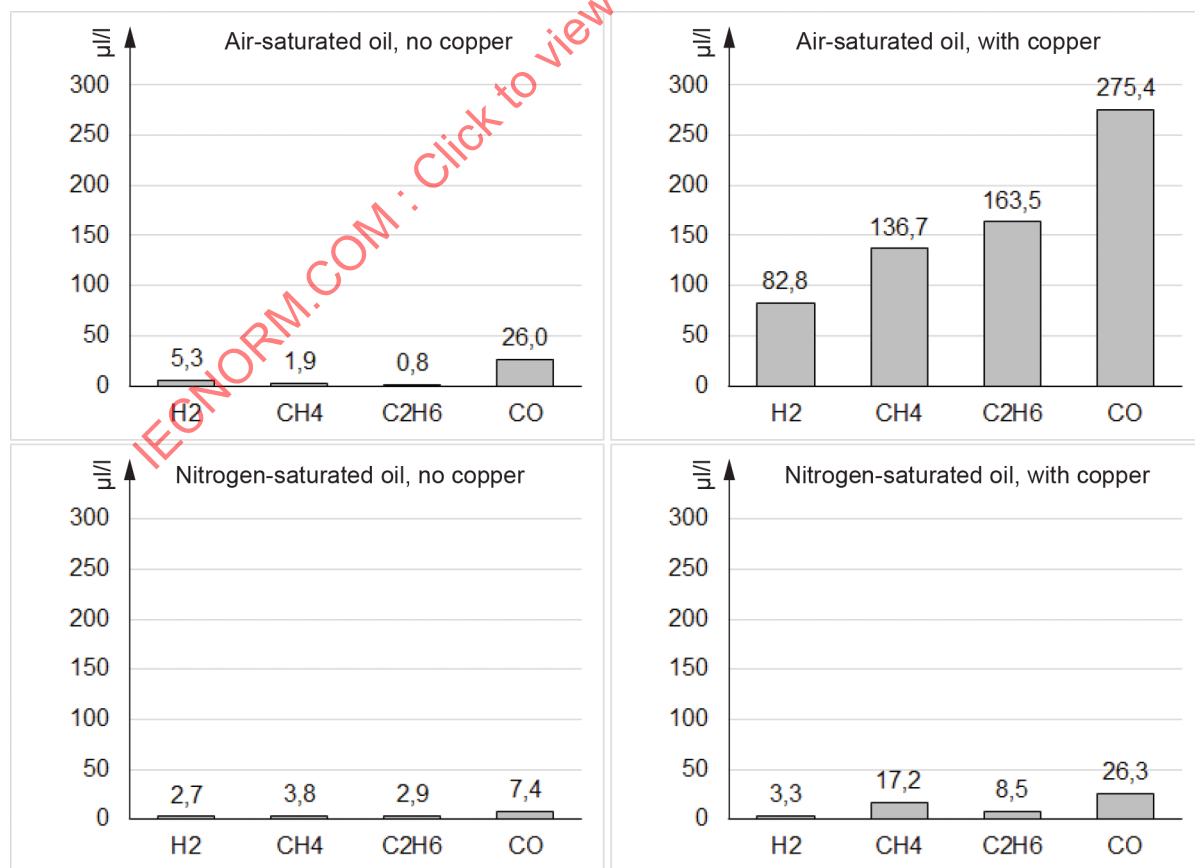
A.8.1 General

The round robin test allowed identifying some "stray gassing patterns". The results are reported here for information. The reported patterns of stray gassing are, of course, limited to the experiments done within CIGRE WG D1.70, and do not represent a full picture of all the possible stray gassing patterns. Nevertheless, they may be useful for better understanding the performance of different types of mineral insulating oils.

Stray gassing patterns are described in graphs, where the development of hydrogen, methane, ethane and carbon monoxide is reported for each tested condition.

A.8.2 Stray gassing pattern 1

The pattern shown in Figure A.2 has been shown by an uninhibited unused mineral oil.

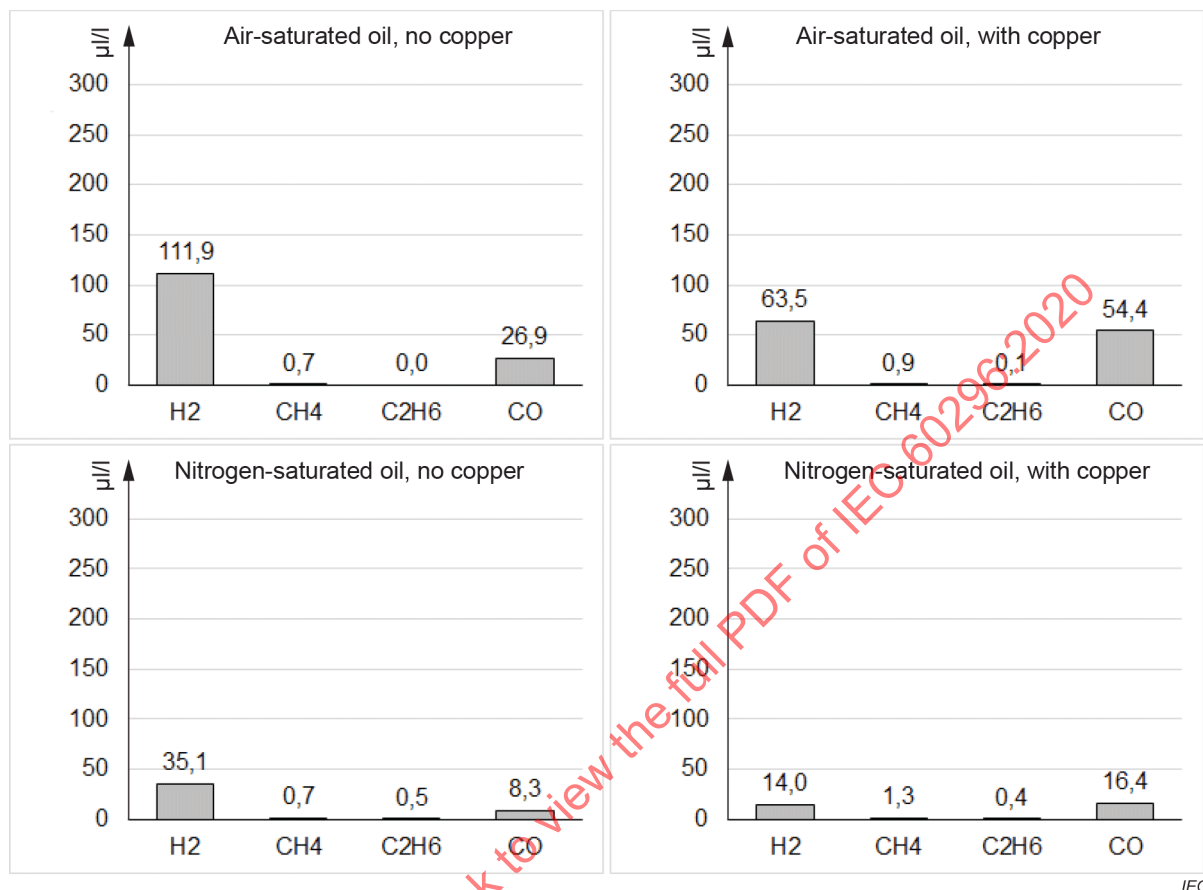


IEC

Figure A.2 – Stray gassing pattern 1

A.8.3 Stray gassing pattern 2

The pattern shown in Figure A.3 has been shown by an inhibited unused mineral oil, containing a triazolic passivator additive.

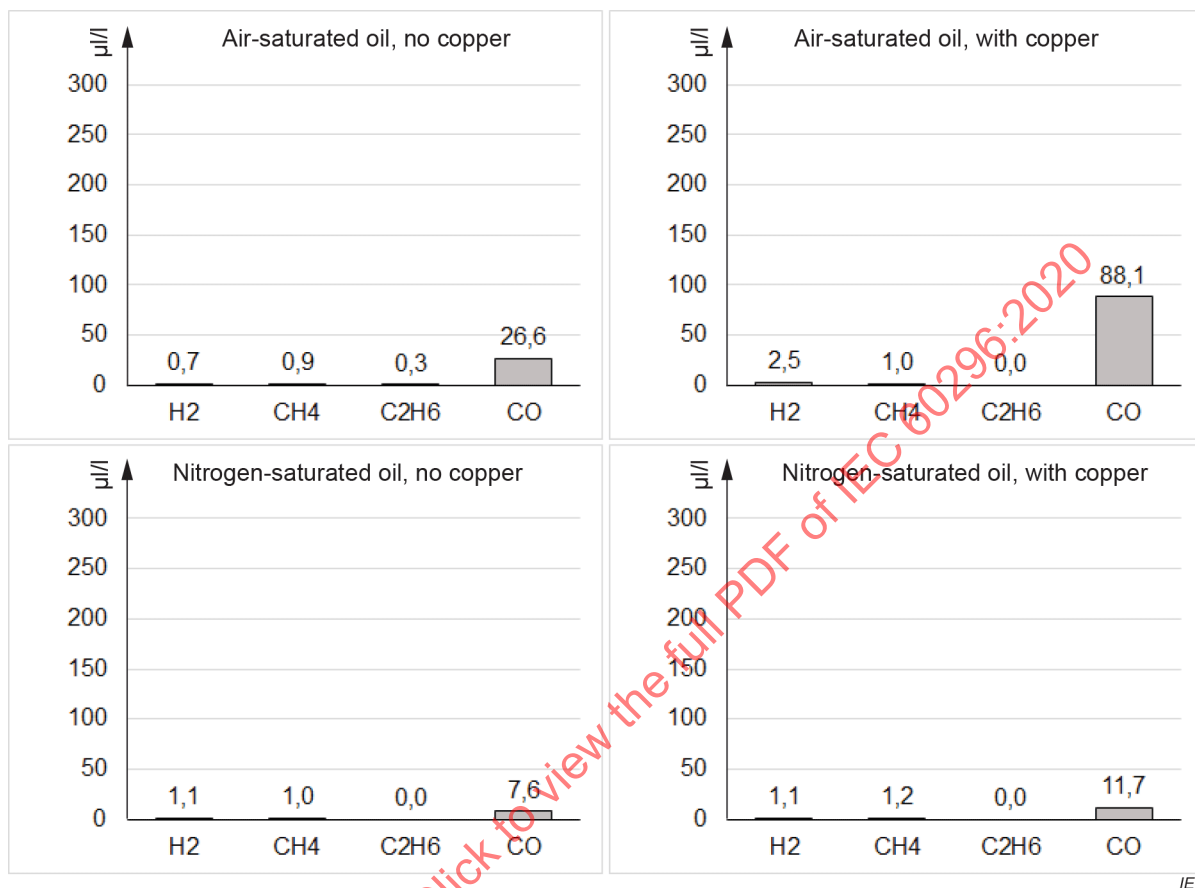


IEC

Figure A.3 – Stray gassing pattern 2

A.8.4 Stray gassing pattern 3

The pattern shown in Figure A.4 has been shown by inhibited mineral oils, both unused and recycled. The graphs show typical values, considering the very low deviation between the tested oils.



IEC

Figure A.4 – Stray gassing pattern 3

A.8.5 Stray gassing pattern 4

The pattern shown in Figure A.5 has been shown by an uninhibited recycled mineral oil.

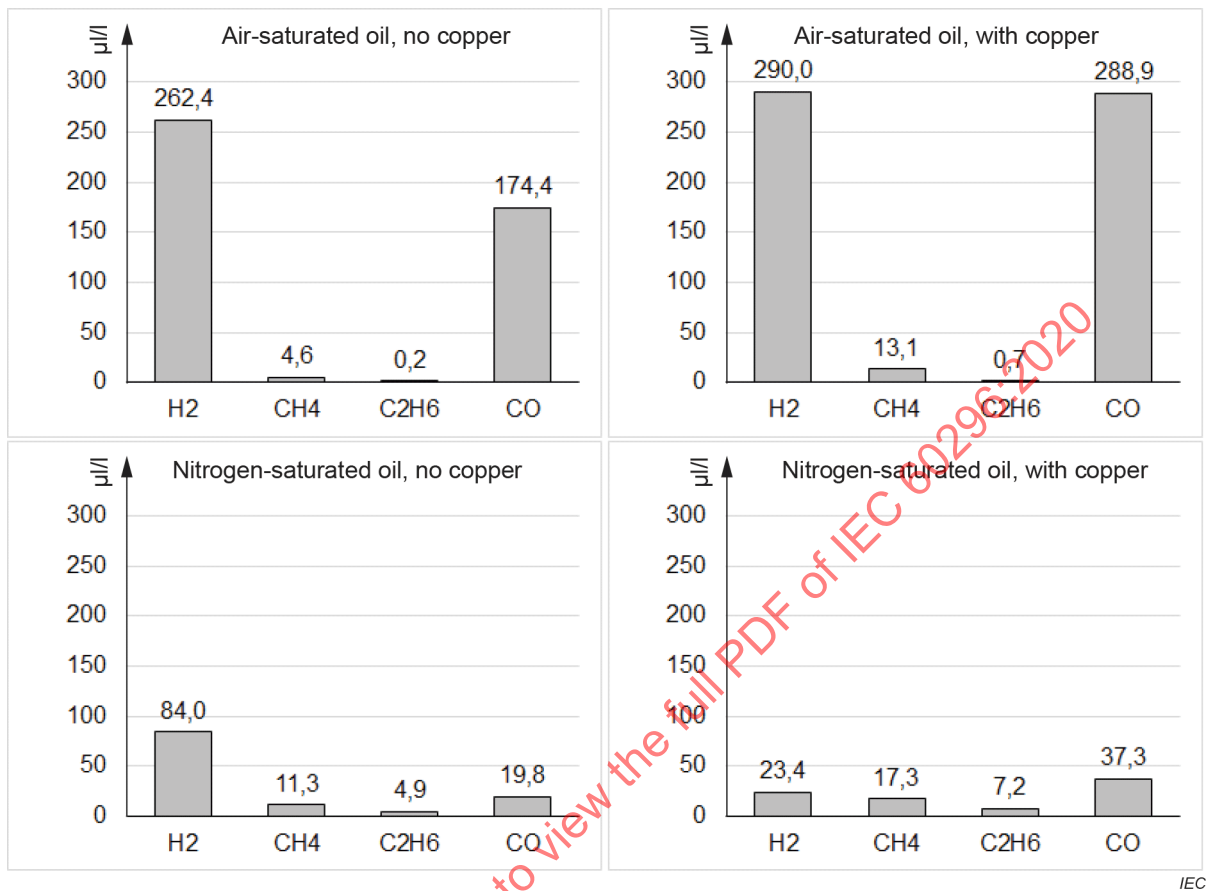


Figure A.5 – Stray gassing pattern 4

Annex B (informative)

Potentially corrosive sulphur

B.1 Mechanism of copper sulphide deposition

The mechanism of copper sulphide (Cu_2S) deposition has still not been fully elucidated.

The strong influence of temperature and oxygen on this process indicates that some oxidized sulphur species may be more active than those originally present in oil, or that other oxidation products are important as co-complexing agents (see CIGRE Technical Brochure 378). Cu_2S deposition occurs preferentially in equipment where corrosive sulphur compounds are present in oil, unvarnished or unprotected copper is used, operating temperatures are high and the amount of oxygen in oil is limited. The optimal oxygen content for copper transport seems to be relatively low, probably in the region of a few thousand $\mu\text{l/l}$, but deposition may occur over a wide range of oxygen contents.

B.2 Corrosive sulphur compounds in oil

Although many sulphur compounds are known to be corrosive for copper, few have been identified as components of insulating oil. The only compound shown so far to be a potent Cu_2S forming agent and to be present in significant amounts in mineral insulating oil is dibenzylsulphide (DBDS), known as an additive in the lubricant industry. Most oils found to be forming Cu_2S contain this substance. Refining processes using severe hydrotreatment can easily remove reactive sulphur compounds which are potentially corrosive and found in crude oil like disulphides, thioethers, various oxidized sulphur compounds and elemental sulphur. Such substances may be released or formed from a non-corrosive oil by imprudent oil treatment (e.g. improper reclaiming, see CIGRE Technical Brochure 625). Silver-coated metal surfaces (e.g. tap-changer contacts) are extremely susceptible to reactions with elemental sulphur to form silver sulphide layers which may increase contact resistance or flake off and initiate flashovers.

B.3 Detection of corrosive sulphur compounds in oils containing passivators

B.3.1 General

When oil in a transformer contains a metal passivator additive, a thin protective layer of passivator is formed on copper surfaces, which prevents copper from dissolving in oil, reacting with corrosive sulphur compounds present in oil, and depositing in paper insulation as harmful copper sulphide (Cu_2S).

The same occurs when testing passivator-containing oils according to IEC 62535. This test method therefore cannot detect corrosive sulphur compounds present in passivator-containing oils and may provide "false negative" results for such oils. Passivator-containing oils testing negative as unused oils may then test positive and start depositing harmful Cu_2S after the additive has been consumed by aging in transformer service.

In order to detect corrosive sulphur compounds in oil containing a metal passivator additive (declared or suspected), the passivator additive has to be removed from the oil first. The following two procedures can be used for that purpose. Both are intended for newly available types of oils only, not for normal deliveries of oil.

B.3.2 Procedure 1

In this procedure, metal passivator additives are eliminated by specific adsorption from the oil:

- a) if the initial concentration of passivator was > 200 mg/kg, then stir 100 ml of passivator-containing oil with 500 mg of Chromabond^{®2} HR-XC adsorbent (a strong, mixed-mode, polymer-based cation exchanger for basic analytes), for 1 h, then filter out the adsorbent;
or
- b) alternately, if the initial concentration of passivator was < 200 mg/kg, you may extract 60 ml of oil under a slight vacuum on a 3 ml column containing 200 mg of the adsorbent.

B.3.3 Procedure 2

This procedure is based on the observation that metal passivator additives in oil are consumed by oxidation aging (in accelerated tests in the laboratory and in transformers in service):

- a) Run the passivator-containing oil in the test cell used in IEC 61125 at 120°C for 164 h with an air flow of 0,15 l/h to ensure that the passivator has been consumed by oxidation.
- b) Test the aged oil for corrosive sulphur in the test cell according to IEC 62535 with a new paper wrapped conductor.
- c) To avoid false positives with the aged oil (i.e. where oxidation aging compounds of oil are mistakenly interpreted as Cu_2S), confirm Cu_2S deposition using the SEM/EDX technique or other techniques (according to Annex B of IEC 62535:2008). False positives can also be avoided by carrying out a second test according to IEC 62535 without a copper strip and with paper only, and comparing the appearance of papers after both tests with and without copper.

NOTE 1 The protective layer of passivator on copper has been observed to remain on copper after aging tests in the laboratory, but there is little knowledge on whether and how long it will remain on copper in transformers in service.

NOTE 2 As a complement to IEC 62535 and procedures 1 and 2 for passivator-containing oils, the quantification of corrosive sulphur compounds in oil (e.g., dibenzylidisedisulphide (DBDS) and total disulphide) can be used to ensure that none of these potentially harmful compounds are present in oil.

² Chromabond[®] HR-XC is the trademark of a product supplied by Macherey Nagel. 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.

Annex C

(informative)

Contamination of oils with silicone

Mineral insulating oils suspected of having been accidentally contaminated with silicone, phthalates or other surface-active chemicals or oils should not be introduced in transformers, since these compounds can produce foaming in oil when trying to degas the transformer, thus making it difficult or impossible to fully degas the mineral insulating oil. The foaming tendency test of ISO 6247 can be used to detect such a contamination.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60296:2020

Annex D (informative)

Transformer oil test equivalents

Table D.1 presents a short overview on the comparison of the test methods quoted as reference methods in IEC 60296 to some other test methods.

Table D.1 – Some transformer oil test equivalents

Tested Property	Test method quoted in IEC 60296,	Comparable test method(s)	Method equivalency ^a	Some related method(s) (not directly comparable or equivalent)
Kinematic viscosity	ISO 3104	ASTM D7042, ASTM D445	Y	
Viscosity at very low temperature	IEC 61868			
Pour point	ISO 3016	ASTM D97	Y	ASTM D5949
Water content	IEC 60814	ASTM D1533	Y	ASTM D6304
Breakdown voltage	IEC 60156	ASTM D1816	N	ASTM D877
Density	ISO 12185	ISO 3675, ASTM D7042	Y	ASTM D1298
Dielectric dissipation factor at 90 °C	IEC 60247	IEC 61620, ASTM D924	N	
Colour	ISO 2049	ASTM D1500	Y	
Appearance	IEC 60296 (see 6.7)	ASTM D1524	Y	
Acidity	IEC 62021-2, IEC 62021-1	ASTM D974, ASTM D664	Y	
Interfacial tension	IEC 62961	ASTM D971	Y only for new oils N for used oils a	
Total sulphur content	ISO 14596	ISO 8754	Y	
Corrosive sulphur (silver strip)	DIN 51353	ASTM D1275 (Method A)	N	
Corrosive sulphur (copper strip)		ASTM D1275 (Method B)		
Potentially corrosive sulphur	IEC 62535			
Inhibitor and antioxidant content	IEC 60666	ASTM D2668	Y	ASTM D4768
Metal passivator content	IEC 60666:2010, Annex B			
Pour point depressant detection	IEC 60666:2010, Annex C			
Other additive content	IEC 60666			

Tested Property	Test method quoted in IEC 60296,	Comparable test method(s)	Method equivalency ^a	Some related method(s) (not directly comparable or equivalent)
Oxidation stability (acidity, sludge and DDF)	IEC 61125	ASTM D2440	N	
Flash point (PMCC)	ISO 2719	ASTM D93	Y	
Flash and fire points (COC)		ISO 2592, ASTM D92	Y	
Polycyclic aromatic content	IP 346			EN 16143 (selected PAHs)
Polychlorinated biphenyl content	IEC 61619	EN 12766-2	N	ASTM D4059
Furanic compound content	IEC 61198	ASTM D5837	Y	
Dibenzylsulphide content	IEC 62697-1			
Stray gassing under thermo-oxidative stress	IEC 60296 (see Annex A)			ASTM D7150
Electrostatic charging tendency	CIGRE TB 170			
Gassing tendency under electrical stress and ionization	IEC 60628:1985 (Method A)	ASTM D2300	N	
Thermal properties – Thermal conductivity	ASTM D7896			
Thermal properties – Specific heat capacity	ASTM E1269			
Thermal properties – Thermal expansion	ASTM D1903			
Aromatic content	IEC 60590	ASTM D6591	N	
Carbon-Type distribution ^b		ASTM D2140, ASTM D3238		
Refractive index	DIN 51423-1			ASTM D1218, ISO 5661
Lubricity	DIN 51350-3			ISO 20623, ASTM D4172
Particle content	IEC 60970			
DGA (headspace) ^{c,d}	IEC 60567:2011, 7.5.	ASTM D3612 (Method C)	Y	
DGA (partial degassing) ^{c,d}	IEC 60567:2011, 7.3	ASTM D3612 (Method A)	Y	

^a Tests deemed equivalent produce results which are equivalent.

^b Not valid for isoparaffinic oils.

^c Not part of IEC 60296.

^d Results are given at 20 °C in IEC test methods and at 0 °C in ASTM test methods.

Bibliography

IEC 60076-2, *Power transformers – Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers*

IEC 60076-7, *Power transformers – Part 7: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers*

IEC 60590, *Determination of the aromatic hydrocarbon content of new mineral insulating oils*

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

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

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

ISO 6247, *Petroleum products – Determination of foaming characteristics of lubricating oils*

ISO 20623, *Petroleum and related products – Determination of the extreme-pressure and anti-wear properties of lubricants – Four-ball method (European conditions)*

DIN 51350-3, *Testing of lubricants – Testing in the four ball tester – Part 3: Determination of wearing characteristics of liquid lubricants*

DIN 51423-1, *Testing of mineral oils – Part 1: Measurement of the relative refractive index with the precision refractometer*

EN 12766-2, *Petroleum products and used oils – Determination of PCBs and related products – Part 2: Calculation of polychlorinated biphenyl (PCB) content*

EN 16143, *Petroleum products – Determination of content of Benzo(a)pyrene (BaP) and selected polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in extender oils – Procedure using double LC cleaning and GC/MS analysis*

ASTM D92, *Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester*

ASTM D93, *Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester*

ASTM D97, *Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products*

ASTM D445, *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*

ASTM D664, *Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration*

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

ASTM D924, *Standard Test Method for Dissipation Factor (or Power Factor) and Relative Permittivity (Dielectric Constant) of Electrical Insulating Liquids*

ASTM D974, *Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration*

ASTM D1218, *Standard Test Method for Refractive Index and Refractive Dispersion of Hydrocarbon Liquids*

ASTM D1275, *Standard Test Method for Corrosive Sulfur in Electrical Insulating Liquids*

ASTM D1298, *Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method*

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

ASTM D1533, *Standard Test Method for Water in Insulating Liquids by Coulometric Karl Fischer Titration*

ASTM D1816, *Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage of Insulating Liquids Using VDE Electrodes*

ASTM D1903, *Standard Practice for Determining the Coefficient of Thermal Expansion of Electrical Insulating Liquids of Petroleum Origin, and Askarels*

ASTM D2140, *Standard Practice for Calculating Carbon-Type Composition of Insulating Oils of Petroleum Origin*

ASTM D2300, *Standard Test Method for Gassing of Electrical Insulating Liquids Under Electrical Stress and Ionization (Modified Pirelli Method)*

ASTM D2440, *Standard Test Method for Oxidation Stability of Mineral Insulating Oil*

ASTM D2668, *Standard Test Method for 2,6-di-tert-Butyl- p-Cresol and 2,6-di-tert-Butyl Phenol in Electrical Insulating Oil by Infrared Absorption*

ASTM D3238, *Standard Test Method for Calculation of Carbon Distribution and Structural Group Analysis of Petroleum Oils by the n-d-M Method*

ASTM D3612, *Standard Test Method for Analysis of Gases Dissolved in Electrical Insulating Oil by Gas Chromatography*

ASTM D4059, *Standard Test Method for Analysis of Polychlorinated Biphenyls in Insulating Liquids by Gas Chromatography*

ASTM D4172, *Standard Test Method for Wear Preventive Characteristics of Lubricating Fluid (Four-Ball Method)*

ASTM D4768, *Standard Test Method for Analysis of 2,6-Ditertiary-Butyl Para-Cresol and 2,6-Ditertiary-Butyl Phenol in Insulating Liquids by Gas Chromatography*

ASTM D5837, *Standard Test Method for Furanic Compounds in Electrical Insulating Liquids by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)*

ASTM D5949, *Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products (Automatic Pressure Pulsing Method)*

ASTM D6304, *Standard Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration*

ASTM D7150, *Standard Test Method for the Determination of Gassing Characteristics of Insulating Liquids Under Thermal Stress*

ASTM E1269, *Standard Test Method for Determining Specific Heat Capacity by Differential Scanning Calorimetry*

CIGRE Technical Brochure 170, *Static electrification in power transformers, 2000*

CIGRE Technical Brochure 378, *Copper sulphide in transformer insulation, 2009*

CIGRE Technical Brochure 625, *Copper sulphide long term mitigation and risk assessment, 2015*

European Council Directive (96/59/EC) of 16 September 1996 – *Disposal of polychlorinated biphenyls and polychlorinated terphenyls (PCB/PCT)*

UN Guidelines for the identification of PCBs and materials containing PCBs (1999)

REACH (<https://www.echa.europa.eu/candidate-list-table>)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60296:2020

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60296:2020

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	45
INTRODUCTION	47
1 Domaine d'application	48
2 Références normatives	48
3 Termes et définitions	50
4 Propriétés de l'huile	52
4.1 Généralités	52
4.2 Propriétés fonctionnelles	53
4.3 Production et stabilité	53
4.4 Performances	53
4.5 Propriétés liées à l'hygiène, la sécurité et l'environnement (HSE)	53
5 Classification, étiquetage, identification, exigences générales de livraison et échantillonnage	53
5.1 Classification et étiquetage	53
5.1.1 Classes	53
5.1.2 Teneur en antioxydant (inhibiteur d'oxydation)	54
5.1.3 Température minimale de démarrage en puissance (TMDP)	54
5.1.4 Étiquetage et dénomination pour commande	54
5.2 Exigences	55
5.3 Miscibilité et compatibilité	55
5.4 Exigences générales et identification à la livraison	55
5.5 Échantillonnage	55
6 Propriétés, leur signification et méthodes d'essai	56
6.1 Viscosité	56
6.2 Point d'écoulement	56
6.3 Teneur en eau	57
6.4 Tension de claquage	57
6.5 Masse volumique	57
6.6 Facteur de dissipation diélectrique (FDD)	57
6.7 Couleur et aspect	57
6.8 Acidité	57
6.9 Tension interfaciale (TIF)	57
6.10 Teneur en soufre	58
6.11 Soufre corrosif et potentiellement corrosif	58
6.12 Additifs (voir 3.3)	58
6.12.1 Généralités	58
6.12.2 Antioxydants (voir 3.4)	58
6.12.3 Passivants de métaux	59
6.12.4 Abaisseurs de point d'écoulement	59
6.13 Stabilité à l'oxydation	59
6.14 Point d'éclair	59
6.15 Composés aromatiques polycycliques (CAP) et hydrocarbures polyaromatiques (HPA)	60
6.16 Teneur en polychlorobiphényles (PCB)	60
6.17 Teneur en 2-furfural (2-FAL) et ses dérivés	60
6.18 Teneur en DBDS	60

6.19	Stray gassing sous contrainte thermo-oxydante	60
7	Propriétés supplémentaires	65
7.1	Généralités	65
7.2	Tendance à la charge électrostatique (TCE)	65
7.3	Tendance au gassing	65
7.4	Propriétés thermiques	66
7.5	Propriétés liées à la composition (teneur en composés aromatiques, distribution des CAP, indice de réfraction)	66
7.6	Propriétés lubrifiantes	66
7.7	Teneur en particules	66
7.8	Formation de mousse	66
7.9	Équivalents d'essai d'huile pour transformateurs	66
Annexe A	(normative) Méthode de stray gassing sous contrainte thermo-oxydante	67
A.1	Présentation de la méthode	67
A.2	Matériaux exigés	67
A.3	Traitement préalable des seringues	67
A.4	Procédure A: stray gassing dans des conditions oxydantes (teneur en oxygène élevée)	68
A.4.1	Traitement préalable de l'huile minérale	68
A.4.2	Remplissage des seringues avec l'huile minérale	68
A.4.3	Procédure d'incubation	68
A.4.4	Analyse des gaz dissous	68
A.5	Procédure B: stray gassing dans des conditions inertes (faible teneur en oxygène)	69
A.6	Rapport des résultats	69
A.6.1	Rapport d'essai	69
A.6.2	Évaluation du comportement de l'huile au stray gassing	69
A.7	Données de fidélité	69
A.7.1	Généralités	69
A.7.2	Répétabilité	69
A.7.3	Reproductibilité	70
A.8	Résultats de l'essai interlaboratoire	70
A.8.1	Généralités	70
A.8.2	Stray gassing – Profil 1	71
A.8.3	Stray gassing – Profil 2	72
A.8.4	Stray gassing – Profil 3	73
A.8.5	Stray gassing – Profil 4	74
Annexe B	(informative) Soufre potentiellement corrosif	75
B.1	Mécanisme de dépôt de sulfure de cuivre	75
B.2	Composés soufrés corrosifs dans l'huile	75
B.3	Détection des composés soufrés corrosifs dans les huiles contenant des passivants	75
B.3.1	Généralités	75
B.3.2	Procédure 1	76
B.3.3	Procédure 2	76
Annexe C	(informative) Contamination des huiles par des liquides silicones	77
Annexe D	(informative) Équivalents d'essai d'huile pour transformateurs	78
Bibliographie		80

Figure A.1 – Seringues avec et sans cuivre	68
Figure A.2 – Stray gassing – Profil 1	71
Figure A.3 – Stray gassing – Profil 2	72
Figure A.4 – Stray gassing – Profil 3	73
Figure A.5 – Stray gassing – Profil 4	74
Tableau 1 – Signification des lettres codant la dénomination pour commande de l'huile minérale conformément à l'IEC 60296	54
Tableau 2 – Viscosité maximale et point d'écoulement de l'huile minérale isolante	56
Tableau 3 – Spécifications générales, Type A (huiles de qualité supérieure totalement inhibées)	61
Tableau 4 – Spécifications générales, Type B (huiles de qualité standard totalement non inhibées et inhibées)	64
Tableau D.1 – Équivalents d'essai d'huile pour transformateurs	78

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60296:2020

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**FLUIDES POUR APPLICATIONS ÉLECTROTECHNIQUES –
HUILES MINÉRALES ISOLANTES POUR MATÉRIEL ÉLECTRIQUE**

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'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60296 a été établie par le comité d'études 10 de l'IEC: Fluides pour applications électrotechniques.

Cette cinquième édition annule et remplace la quatrième édition parue en 2012. Cette édition constitue une révision technique.

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

- La présente Norme internationale s'applique aux spécifications et aux méthodes d'essai des huiles minérales isolantes neuves et recyclées telles que livrées.
- Les huiles isolantes pour transformateurs se répartissent en deux groupes (Type A et Type B) en fonction de leurs performances.

- Une nouvelle méthode de stray gassing sous contrainte thermo-oxydante des huiles minérales isolantes, qui a été soumise à un essai interlaboratoire (RRT- *round-robin test*) commun au comité d'études CIGRE D1 et au comité d'études 10 de l'IEC, a été incluse.

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

FDIS	Rapport de vote
10/1117/FDIS	10/1118/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

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 "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou,
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

AVERTISSEMENT – Le présent document n'a pas pour but d'aborder tous les problèmes de sécurité liés à son utilisation. Il incombe à l'utilisateur du présent document d'établir, avant de l'utiliser, des pratiques d'hygiène et de sécurité adéquates et de déterminer l'applicabilité des restrictions réglementaires.

Il convient de manipuler les huiles minérales isolantes, dont traite le présent document, selon les réglementations locales et les fiches de données de sécurité des fournisseurs.

Le présent document s'applique aux huiles minérales isolantes, aux produits chimiques et aux récipients d'échantillons usagés. Il convient de les éliminer selon les réglementations locales en fonction de leur effet sur l'environnement.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60296:2020

FLUIDES POUR APPLICATIONS ÉLECTROTECHNIQUES – HUILES MINÉRALES ISOLANTES POUR MATÉRIEL ÉLECTRIQUE

1 Domaine d'application

Le présent document énonce les spécifications et méthodes d'essai pour les huiles minérales isolantes neuves et recyclées (voir l'Article 3 pour les définitions). Il s'applique à l'huile minérale livrée dans le cadre d'un accord contractuel, destinée à être utilisée dans les transformateurs, appareillages de connexion et matériels électriques analogues, dans lesquels l'huile est exigée comme fluide isolant et caloporteur. Une huile neuve ou recyclée relevant du domaine d'application du présent document n'a été ni utilisée dans des matériels électriques ni mise à leur contact ou au contact de tout autre matériel non exigé à sa fabrication, son stockage ou son transport.

Les huiles neuves sont obtenues par raffinage, modification et/ou mélange de produits pétroliers et d'autres hydrocarbures issus de matières premières vierges.

Les huiles recyclées sont produites à partir d'huiles précédemment utilisées comme huiles minérales isolantes dans les matériels électriques et qui ont été soumises à un reraffinage ou à une régénération selon des procédés appliqués hors site. À l'origine, ces huiles ont été fournies conformément à une spécification reconnue relative aux huiles minérales isolantes neuves. Le présent document ne fait pas de distinction entre les méthodes utilisées pour recycler les huiles minérales isolantes. Les huiles traitées sur site (voir l'IEC 60422) ne relèvent pas du domaine d'application du présent document.

Le présent document s'applique aux huiles avec ou sans additifs.

Le présent document ne concerne pas les huiles minérales isolantes utilisées comme imprégnant dans des câbles ou des condensateurs.

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 60422:2013, *Huiles minérales isolantes dans les matériels électriques – Lignes directrices pour la maintenance et la surveillance*

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

IEC 60567:2011, *Matériels électriques immergés – Échantillonnage de gaz et analyse des gaz libres et dissous – Lignes directrices*

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

IEC 60666:2010, *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 60970, *Isolants liquides – Méthodes de détermination du nombre et de la taille des particules*

IEC 61125:2018, *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 mesure de la conductance et de la capacité – Méthode d'essai*

IEC 61868, *Huiles minérales isolantes – Détermination de la viscosité cinématique à très basse température*

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

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

IEC 62535:2008, *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)*

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

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

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

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 3819, *Verrerie de laboratoire – Béchiers*

ISO 8754, *Produits pétroliers – Détermination de la teneur en soufre – Spectrométrie de fluorescence de rayons X dispersive en énergie*

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

ISO 14596, *Produits pétroliers – Détermination de la teneur en soufre – Spectrométrie de fluorescence X dispersive en longueur d'onde*

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

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

ASTM D6591, *Standard Test Method for Determination of Aromatic Hydrocarbon Types in Middle Distillates—High Performance Liquid Chromatography Method with Refractive Index Detection*

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

ASTM D7896, *Standard Test Method for Thermal Conductivity, Thermal Diffusivity and Volumetric Heat Capacity of Engine Coolants and Related Fluids by Transient Hot Wire Liquid Thermal Conductivity Method*

DIN 51353, *Essai des huiles isolantes – décèlement du soufre corrosif – essai à la lame d'argent*

IP 346, *Determination of polycyclic aromatics in unused lubricating base oils and asphaltene free petroleum fractions – Dimethyl sulfoxide extraction refractive index method*

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

3.1

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

Note 1 à l'article: Les huiles minérales isolantes incluent les huiles minérales isolantes neuves (3.8) et recyclées (3.9).

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-02, modifiée – ajout de "pour transformateurs et matériels électriques analogues (appareillages de connexion, changeurs de prises, par exemple)", "pétroles bruts" remplacé par "produits pétroliers et/ou d'autres hydrocarbures" et ajout de la note à l'article.]

3.2

huile pour appareillages de connexion basse température

huile minérale isolante pour appareillages de connexion immergés en service à l'extérieur et dans des conditions climatiques très froides

3.3

additif

substance chimique qui est ajoutée à une huile minérale isolante pour en améliorer certaines propriétés

EXEMPLES Antioxydants, passivants de métaux, désactiveurs de métaux, abaisseurs de tendance à la charge électrostatique, agents modifiant la tendance au gassing, abaisseurs de point d'écoulement, agents antimousse et adjuvants de raffinage.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-13, modifiée — "appropriée" remplacé par "chimique", "à faible dose, à un matériau isolant ou un isolant liquide" remplacé par "à une huile minérale isolante" et ajout des exemples.]

3.4

antioxydant

inhibiteur d'oxydation

additif incorporé à une huile minérale isolante qui en améliore la stabilité à l'oxydation

Note 1 à l'article: DBPC = 2,6-di-tert-butyl-para-crésol; DBP = 2,6-di-tert-butyl-phénol.

Note 2 à l'article: Pour les besoins du présent document, l'inhibiteur d'oxydation est une substance chimique synthétique de type phénolique, telle que les DBPC et les DBP décrits dans l'IEC 60666.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-14, modifiée — "à un isolant solide pour réduire ou retarder la dégradation par oxydation" remplacé par "à une huile minérale isolante qui en améliore la stabilité à l'oxydation" et note remplacée par les notes à l'article.]

3.4.1

autre additif antioxydant

additif antioxydant de types soufré, aminé ou phosphoré

Note 1 à l'article: Les additifs de type soufré n'incluent pas le disulfure de dibenzyle (DBDS - *dibenzylidysulphide*) ou d'autres composés soufrés potentiellement corrosifs.

3.4.2

passivant

additif utilisé essentiellement comme désactivateur de corrosion et parfois comme agent anti-électrisation statique

Note 1 à l'article: Il peut également améliorer la stabilité à l'oxydation, en réduisant les effets catalytiques du cuivre sur l'oxydation de l'huile

3.5

huile non inhibée (U)

huile minérale isolante qui ne contient pas d'inhibiteur d'oxydation ni d'autres additifs antioxydants

Note 1 à l'article: "Pas d'inhibiteur" signifie que la teneur totale en inhibiteur(s) est inférieure à la limite de détection de 0,01 % indiquée dans l'IEC 60666.

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-19, modifiée — Dans le terme, suppression de "isolante", dans la définition "d'antioxydant mais qui peut contenir d'autres additifs" remplacé par "d'inhibiteur d'oxydation ni d'autres additifs antioxydants" et note remplacée par la note à l'article.]

3.6

huile faiblement inhibée (T)

huile minérale isolante dont la teneur totale en inhibiteur est comprise entre 0,01 % au minimum et moins de 0,08 %, les mesures étant réalisées selon l'IEC 60666

3.7

huile inhibée (I)

huile minérale isolante dont la teneur totale en inhibiteur est comprise entre 0,08 % au minimum et 0,40 % au maximum, les mesures étant réalisées selon l'IEC 60666

3.8

huile minérale isolante neuve (V)

huile minérale isolante obtenue par raffinage, modification et/ou mélange de produits pétroliers et d'autres hydrocarbures, et qui a été ni utilisée dans des matériels électriques ni mise à leur contact ou au contact de tout autre matériel non exigé à sa fabrication, son stockage ou son transport

Note 1 à l'article: Dans certains pays, l'huile minérale neuve est décrite comme de l'huile vierge.

Note 2 à l'article: Le fabricant et le fournisseur d'une huile minérale isolante neuve doivent prendre toutes les précautions utiles pour prévenir une contamination par des polychlorobiphényles (PCB - *polychlorinated biphenyls*) ou des polychloroterphényles (PCT - *polychlorinated terphenyls*), ou par d'autres contaminants.

3.9

huile minérale isolante recyclée (R)

huile minérale isolante déjà utilisée dans les matériels électriques et qui a subi un reraffinage ou une régénération après son élimination desdits matériels

Note 1 à l'article: Tout mélange d'huiles neuves et d'huiles recyclées doit être considéré comme étant recyclé.

Note 2 à l'article: Les caractéristiques de l'huile recyclée dépendent fortement de l'huile qui a été recyclée, de la technique de raffinage d'origine, de l'historique de service et du type de procédé de recyclage.

Note 3 à l'article: Les antioxydants naturels ou ajoutés présents à l'origine dans l'huile peuvent avoir été épuisés en service ou éliminés par le procédé de recyclage. Il est donc nécessaire de rétablir/améliorer la stabilité à l'oxydation, ce qui est en général réalisé en ajoutant un inhibiteur d'oxydation.

Note 4 à l'article: Ces huiles recyclées sont souvent produites à partir de mélanges d'huiles minérales isolantes d'origines différentes. Le fabricant et le fournisseur d'une huile minérale isolante recyclée doivent prendre toutes les précautions utiles pour prévenir une contamination par des polychlorobiphényles (PCB) ou des polychloroterphényles (PCT), ou par d'autres contaminants.

3.10

huile minérale isolante régénérée

huile minérale isolante recyclée utilisée dans les matériels électriques, qui a fait l'objet d'un traitement chimique et physique après son élimination desdits matériels, afin de réduire la présence de contaminants solubles et non solubles

3.11

huile minérale isolante reraffinée

huile minérale isolante recyclée utilisée dans les matériels électriques, qui a été retirée du service et a fait l'objet d'un procédé s'apparentant à celui utilisé pour la production d'une huile minérale isolante neuve issue de matières premières vierges, afin de réduire le niveau de composés indésirables

Note 1 à l'article: Ces huiles reraffinées sont souvent produites à partir de mélanges d'huiles minérales isolantes d'origines différentes, y compris de procédés tels que la distillation et l'hydrogénation.

4 Propriétés de l'huile

4.1 Généralités

Les caractéristiques de l'huile sont énumérées dans le Tableau 2, le Tableau 3 et le Tableau 4, ainsi qu'à l'Article 6 et à l'Article 7.

4.2 Propriétés fonctionnelles

Il s'agit des propriétés de l'huile ayant un impact sur son rôle de liquide isolant et caloporteur.

NOTE Les propriétés fonctionnelles incluent la viscosité, la masse volumique, le point d'écoulement, la teneur en eau, la tension de claquage, le facteur de dissipation diélectrique, ainsi que la capacité thermique massique, la conductivité thermique et le coefficient de dilatation.

4.3 Production et stabilité

Il s'agit des propriétés de l'huile qui dépendent de la qualité et du type de raffinage et des additifs.

NOTE 1 Celles-ci peuvent inclure l'aspect, la tension interfaciale, la teneur en soufre, l'acidité, le soufre corrosif, le soufre potentiellement corrosif, la teneur en 2-furfural et ses dérivés, ainsi que le stray gassing.

NOTE 2 Les propriétés telles que la teneur en composés aromatiques, l'indice de réfraction et/ou la répartition des types de composés aromatiques peuvent fournir des informations intéressantes sur la consistance d'une huile donnée.

4.4 Performances

Il s'agit des propriétés liées au comportement à long terme de l'huile en service, et/ou à sa tenue à des contraintes électriques ou thermiques élevées. En ce qui concerne les performances, les huiles isolantes pour transformateurs sont réparties en Type A (Tableau 3) et en Type B (Tableau 4).

4.5 Propriétés liées à l'hygiène, la sécurité et l'environnement (HSE)

Il s'agit des propriétés de l'huile liées à leur manipulation en toute sécurité et à la protection de l'environnement.

NOTE Des exemples peuvent comprendre le point d'éclair, la masse volumique, ainsi que la teneur en CAP (composés aromatiques polycycliques) et en PCB/PCT (polychlorobiphényles et polychloroterphényles).

5 Classification, étiquetage, identification, exigences générales de livraison et échantillonnage

5.1 Classification et étiquetage

5.1.1 Classes

Pour les besoins du présent document, les huiles minérales isolantes sont réparties en deux classes:

- les huiles pour transformateurs;
- les huiles pour appareillages de connexion basse température.

Parmi les huiles pour transformateurs, deux groupes sont définis: Le Type A (Tableau 3) et le Type B (Tableau 4).

Les huiles isolantes de Type A sont totalement inhibées ("I" selon 5.1.2) et présentent une plus grande stabilité à l'oxydation que les huiles isolantes de Type B.

Les huiles isolantes de Type B peuvent être non inhibées ("U"), faiblement inhibées ("T") ou totalement inhibées ("I") et présentent une bonne résistance à la dégradation, ainsi qu'une bonne stabilité à l'oxydation.

Il est nécessaire de surveiller, et finalement de maintenir la concentration d'inhibiteur dans l'huile inhibée en service. Cette pratique est décrite dans l'IEC 60422.

NOTE Lors du raffinage de l'huile de base, certains composants tels que des composés aromatiques et aromatiques polycycliques sont éliminés en fonction de la sévérité et du type de procédé de raffinage.

Les huiles non inhibées sont en général produites à partir d'huile(s) de base, avec pour objectif de conserver parmi les composants extractibles un équilibre entre ceux qui sont aisément oxydés et ceux qui assurent une certaine protection contre le procédé normal d'oxydation. Le procédé de raffinage est optimisé de manière à conserver certains composés soufrés et aromatiques qui agissent comme antioxydants naturels. Toutefois, les antioxydants naturels n'étant pas aussi efficaces que les antioxydants de synthèse, les huiles non inhibées présentent une stabilité à l'oxydation moindre que celle des huiles inhibées.

Une huile non inhibée contient une certaine quantité d'antioxydants dits naturels, dont certains sont présents depuis le début (contenant le plus souvent du soufre et agissant comme antioxydants secondaires), d'autres constituant des intermédiaires issus des processus d'oxydation (la plupart des produits d'oxydation de composés aromatiques agissent alors comme des désactivateurs de radicaux). L'huile inhibée est un mélange d'huile(s) de base avec un antioxydant de synthèse. La réponse de l'additif et la stabilité à l'oxydation de l'huile inhibée qui en résulte dépendent dans une très large mesure de la sévérité du raffinage. L'antioxydant est ajouté pour contrôler les processus d'oxydation. L'inhibiteur agit comme un désactivateur de radicaux et protège les hydrocarbures de l'huile de base (selon le degré de raffinage) contre l'oxydation. Les huiles présentant une stabilité à l'oxydation très élevée sont les huiles inhibées. Elles peuvent être obtenues en mélangeant l'huile de base ayant fait l'objet d'un traitement très sévère et l'antioxydant.

5.1.2 Teneur en antioxydant (inhibiteur d'oxydation)

Les huiles minérales isolantes sont classées en trois groupes, selon leur teneur en additif antioxydant:

- les huiles minérales isolantes non inhibées: signalées par la lettre U;
- les huiles minérales isolantes faiblement inhibées: signalées par la lettre T;
- les huiles minérales isolantes inhibées: signalées par la lettre I.

5.1.3 Température minimale de démarrage en puissance (TMDP)

Sauf spécification contraire, la TMDP doit être de -30 °C. Si une TMDP différente est spécifiée, elle doit être choisie parmi les valeurs du Tableau 2.

5.1.4 Étiquetage et dénomination pour commande

Pour les besoins de déclaration, les huiles minérales isolantes doivent être étiquetées comme suit:

V: huile minérale isolante neuve telle que définie en 3.8.

R: huile minérale isolante recyclée telle que définie en 3.9.

La dénomination pour commande d'une huile isolante conformément à l'IEC 60296 doit suivre l'ordre suivant: Matériel/Déclaration/Type/Antioxydant selon le schéma du Tableau 1.

Tableau 1 – Signification des lettres codant la dénomination pour commande de l'huile minérale conformément à l'IEC 60296

Première lettre = Matériel	T – Transformateur	S – Appareillage de connexion
Deuxième lettre = Déclaration	V – Neuve (Vierge)	R – Recyclée
Troisième lettre = Type	A – Spécification Type A	B – Spécification Type B
Quatrième lettre = Antioxydant	I – inhibée	U – non inhibée T – faiblement inhibée

EXEMPLE 1 Pour commander une huile pour transformateurs, recyclée de qualité supérieure inhibée: **TRAI**.

EXEMPLE 2 Pour commander une huile pour transformateurs, neuve non inhibée: **TVBU**.

EXEMPLE 3 Pour commander une huile pour appareillages de connexion, neuve de qualité supérieure inhibée: **SVAI**.

EXEMPLE 4 Pour commander une huile pour appareillages de connexion recyclée faiblement inhibée: **SRBT**.

Les huiles minérales isolantes avec des spécifications non standard relatives à la TMDP, le point d'écoulement, etc. doivent être déclarées individuellement.

5.2 Exigences

Les exigences générales du présent document sont indiquées dans le Tableau 3 et le Tableau 4.

Les propriétés supplémentaires sont définies à l'Article 7.

5.3 Miscibilité et compatibilité

En règle générale, les huiles minérales conformes au présent document sont considérées comme étant miscibles et compatibles si leur mélange ne présente pas de caractéristiques moins favorables que celles de l'huile individuelle la plus défavorable.

Toutes les huiles minérales isolantes conformes au présent document sont physiquement miscibles entre elles et sont réputées former, après homogénéisation, une phase homogène unique et sans précipitation de substances non solubles ou apparition de turbidité. Toutefois, les propriétés du mélange peuvent être différentes de celles des huiles qui le composent (masse volumique, viscosité, teneur totale en soufre, stabilité à l'oxydation ou stray gassing, par exemple).

Les huiles minérales isolantes de mêmes classe et type (5.1.1), de même groupe (5.1.2), de même TMDP (5.1.3) et contenant les mêmes types d'additifs sont considérées comme compatibles entre elles jusqu'à 10 % de mélange sans nécessité de procéder à des essais supplémentaires.

Si des huiles de classe ou de type (5.1.1), de groupe (5.1.2), de TMDP (5.1.3) ou de type d'additifs différents sont mélangées, le mélange obtenu doit être classé et soumis aux essais selon le présent document (voir le Tableau 3 et le Tableau 4).

Une procédure pour évaluer la miscibilité en service et un ensemble de recherches recommandées sont décrits au 5.12 de l'IEC 60422:2013.

5.4 Exigences générales et identification à la livraison

Les exigences générales et l'identification à la livraison sont les suivantes:

- a) L'huile est normalement livrée en conteneurs ferroviaires ou routiers (citernes), ou conditionnée en fûts ou grands récipients pour vrac (GRV). Ces conteneurs doivent être propres et adaptés à cet usage, pour éviter toute contamination. Le fournisseur doit prendre toutes les précautions pour s'assurer que le produit livré satisfait aux exigences du présent document.
- b) Tous les types de conteneurs d'huile doivent au minimum porter les marquages suivants:
 - désignation du fournisseur;
 - classification et étiquetage (voir 5.1);
 - quantité d'huile.
- c) Selon l'accord existant entre le fournisseur et l'acheteur, chaque livraison d'huile peut être accompagnée d'un document spécifiant la désignation du fournisseur, la classification et l'étiquetage de l'huile, et son certificat de conformité.
- d) Le fournisseur doit déclarer la famille chimique et la fonction de tous les additifs, ainsi que les concentrations dans le cas des antioxydants et des passivants.
- e) Une livraison doit être traçable en fonction d'un lot fabriqué.

5.5 Échantillonnage

L'échantillonnage doit être effectué conformément à la procédure décrite dans l'IEC 60475.

6 Propriétés, leur signification et méthodes d'essai

6.1 Viscosité

La viscosité influe sur le transfert de chaleur et, par conséquent, sur l'échauffement du matériel. Des viscosités plus élevées peuvent gêner la circulation de l'huile et réduire les performances de transfert de chaleur. La viscosité plus élevée de l'huile obtenue à des températures ambiantes basses constitue un facteur essentiel lors du démarrage à froid des transformateurs en raison d'une circulation de l'huile faible ou inexistante, ce qui peut entraîner une surchauffe des points chauds des enroulements du transformateur. Une viscosité plus élevée à basses températures peut également freiner les pièces mobiles dans les matériels comme les mécanismes coupe-circuit, les appareillages de connexion, les changeurs de prises en charge, les pompes et les régulateurs. La viscosité à la température minimale de démarrage en puissance (TMDP) des transformateurs ne doit pas dépasser 1 800 mm²/s à –30 °C. Cette température minimale de démarrage en puissance (TMDP) des huiles minérales isolantes est définie dans le présent document à –30 °C. D'autres TMDP (voir le Tableau 2) peuvent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

Il convient que l'huile pour les appareillages de connexion basse température ait une viscosité plus faible à la TMDP: 400 mm²/s au maximum. La TMDP standard de l'huile pour les appareillages de connexion basse température est fixée à –40 °C, mais d'autres TMDP peuvent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

Tableau 2 – Viscosité maximale et point d'écoulement de l'huile minérale isolante

Application	TMDP °C	Viscosité maximale mm ² /s	Point d'écoulement maximal °C
Transformateur	0	1 800	-10
Transformateur	-20	1 800	-30
Transformateur	-30	1 800	-40
Transformateur à basses températures ambiantes	-40	2 500 ^a	-50
Appareillage de connexion à basses températures ambiantes	-40	400 ^a	-60
^a Pour les applications à des températures ambiantes basses. Dans d'autres cas, la valeur doit être convenue entre l'utilisateur et le fabricant.			

La viscosité doit être mesurée conformément à l'ISO 3104 (méthode de référence) ou l'ASTM D7042. La viscosité fixée à –40 °C pour les huiles à basse température doit être mesurée conformément à l'IEC 61868.

Il convient également de tenir compte de la viscosité lors de la conception des équipements de protection, de régulation du débit et de commutation.

6.2 Point d'écoulement

Le point d'écoulement d'une huile minérale isolante est la température la plus basse d'écoulement de l'huile. Il convient que le point d'écoulement soit au moins inférieur de 10 °C à la température minimale de démarrage en puissance (TMDP). Si un additif abaisseur de point d'écoulement est utilisé, le fournisseur doit le déclarer à l'utilisateur. Le point d'écoulement doit être mesuré conformément à l'ISO 3016.

6.3 Teneur en eau

Une faible teneur en eau de l'huile minérale isolante est nécessaire pour obtenir une tension de claquage adéquate et des pertes par dissipation réduites. Pour éviter l'apparition d'eau libre, il convient de limiter la teneur en eau de l'huile minérale isolante telle que livrée. Avant remplissage du matériel électrique, l'huile doit être traitée pour satisfaire aux exigences de l'IEC 60422 lorsque le transformateur en est rempli. La teneur en eau doit être mesurée conformément à l'IEC 60814.

6.4 Tension de claquage

La tension de claquage de l'huile minérale isolante indique sa capacité de résistance à une contrainte électrique dans un matériel électrique. La tension de claquage doit être mesurée conformément à l'IEC 60156. Le fournisseur doit démontrer qu'après un traitement destiné à réduire les teneurs en particules, eau et gaz dissous par un procédé sous vide (voir note), l'huile doit avoir une rigidité diélectrique élevée (tension de claquage > 70 kV).

NOTE Le traitement évoqué consiste à filtrer l'huile à 60 °C sous vide (pression inférieure à 2,5 kPa) à travers un filtre en verre fritté (avec une taille maximale des pores de 2,5 µm).

6.5 Masse volumique

Sous climat froid, la masse volumique d'une huile doit être assez basse pour éviter que la glace formée par congélation d'eau libre ne flotte et éventuellement conduise au développement de défauts comme un amorçage entre conducteurs. Il convient également de tenir compte de la masse volumique lors de la conception des équipements de protection, de débit et de contrôle (les dispositifs reposant sur les principes de flottabilité, comme les relais de Buchholz). La masse volumique doit être mesurée conformément à l'ISO 12185 (méthode de référence), l'ISO 3675 et l'ASTM D7042 étant acceptables.

6.6 Facteur de dissipation diélectrique (FDD)

Le FDD est une mesure des pertes diélectriques au sein de l'huile. Des valeurs de FDD supérieures aux exigences du Tableau 3 et du Tableau 4 peuvent indiquer la contamination de l'huile par des contaminants polaires ou une mauvaise qualité de raffinage. Le FDD doit être mesuré conformément à l'IEC 60247 (méthode de référence) ou l'IEC 61620 à une température de 90 °C.

NOTE Par accord entre les parties prenantes, le FDD peut être mesuré à des températures autres que 90 °C.

6.7 Couleur et aspect

La couleur d'une huile isolante est déterminée dans la lumière transmise et exprimée par une valeur numérique fondée sur la comparaison avec une série de couleurs étalons. La couleur doit être mesurée selon l'ISO 2049 (méthode de référence) ou l'ASTM D1500.

Un contrôle visuel de l'huile isolante (par lumière transmise à travers un échantillon d'huile isolante d'environ 10 cm d'épaisseur à température ambiante) révèle la présence de contaminants visibles, d'eau libre ou de matières en suspension.

6.8 Acidité

L'huile minérale isolante ne doit contenir aucun composé acide. L'acidité doit être mesurée conformément à l'IEC 62021-2 (méthode de référence) ou l'IEC 62021-1.

6.9 Tension interfaciale (TIF)

Une TIF basse indique la présence de composés polaires. La TIF doit être mesurée conformément à l'IEC 62961 (méthode de référence) ou l'ASTM D971.

6.10 Teneur en soufre

Différents composés organo-soufrés peuvent être présents dans les huiles minérales, selon l'origine du pétrole brut, le type et le degré de raffinage. Le raffinage réduit la teneur en soufre et en hydrocarbures aromatiques. Comme certains composés soufrés naturellement présents ont une affinité avec les métaux, ils peuvent agir en inhibiteurs d'oxydation naturels ou peuvent faciliter la corrosion.

L'analyse de la teneur totale en soufre est une exigence pour les huiles minérales de Type A (Tableau 3).

La teneur totale en soufre doit être mesurée conformément à l'ISO 14596 (méthode de référence) ou l'ISO 8754.

6.11 Soufre corrosif et potentiellement corrosif

Certains composés soufrés, par exemple les mercaptans, sont très corrosifs vis-à-vis des surfaces métalliques, c'est-à-dire vis-à-vis de l'acier, du cuivre et de l'argent, et l'huile telle que livrée doit en être exempte. Ce type de soufre corrosif doit être détecté suivant la DIN 51353.

Certains autres composés soufrés, par exemple le disulfure de dibenzyle (DBDS), peuvent conduire à l'apparition de dépôts de sulfure de cuivre (Cu_2S) dans l'isolation papier, ce qui réduit ses propriétés d'isolation électrique (voir Annexe B). Ce phénomène a entraîné plusieurs défaillances de matériels en service.

L'IEC 62535, qui repose sur les travaux réalisés par le GT A2.32 du CIGRE, décrit la meilleure méthode actuelle pour détecter les composés soufrés potentiellement corrosifs dans les huiles. Elle s'applique uniquement aux huiles qui ne contiennent pas d'additif passivant de métaux (déclaré ou non déclaré).

Pour les huiles contenant des passivants, voir l'Article B.3.

6.12 Additifs (voir 3.3)

6.12.1 Généralités

La famille chimique et la fonction de tous les additifs doivent être déclarées dans les fiches de données des produits et les certificats de conformité. Pour les additifs antioxydants et les passivants, leurs concentrations doivent également être indiquées.

6.12.2 Antioxydants (voir 3.4)

Les antioxydants ralentissent l'oxydation de l'huile et donc la formation de produits de dégradation comme les boues et les acides. Il est utile de savoir si, et dans quelle proportion, des additifs antioxydants ont été ajoutés, afin de surveiller la diminution de leur concentration en service.

Les additifs qui ralentissent l'oxydation des huiles minérales isolantes comprennent:

- les inhibiteurs d'oxydation, comme les phénols. Les inhibiteurs d'oxydation les plus largement utilisés sont les DBPC et les DBP (voir 3.4). La détection et le mesurage des DBPC et des DBP doivent être effectués conformément à l'IEC 60666. Il n'existe pas de méthodes d'essai IEC pour d'autres types d'inhibiteurs.
- d'autres additifs antioxydants comme les composés soufrés, aminés et phosphorés, par exemple, les polysulfures organiques et les dithiophosphates (voir 3.4.1). Un additif antioxydant de ce type est le DBDS (voir 6.18), mais il est interdit en raison de sa corrosivité potentielle vis-à-vis du cuivre. D'ailleurs, il est probable que l'huile contenant cet additif ne satisfasse pas à l'essai de soufre potentiellement corrosif de l'IEC 62535.
- les passivants de métaux (voir 3.4.2).

6.12.3 Passivants de métaux

Certains de ces additifs forment des films de faible épaisseur sur le cuivre, empêchant l'effet catalytique du cuivre sur l'huile et la formation dans les papiers de dépôts nocifs de sulfure de cuivre, générés par la réaction des composés soufrés corrosifs dans l'huile avec le cuivre. Certains d'entre eux protègent l'huile de l'action catalytique des métaux et ralentissent la vitesse d'oxydation de l'huile. Les passivants ralentissent par conséquent le processus d'oxydation de l'IEC 61125, dans la mesure où ils inactivent la surface du fil de cuivre utilisé comme catalyseur, donnant ainsi lieu à un résultat optimiste de l'essai de stabilité à l'oxydation. Certains d'entre eux sont aussi utilisés pour modifier la tendance à la charge électrostatique des huiles (voir 7.2).

Trois types principaux de dérivés du benzotriazole sont habituellement utilisés comme additifs passivants de métaux: le N-bis(éthylhexyle-2)-aminométhyle-tolutriazole (TTAA), le benzotriazole (BTA) et le méthyle-5-1H-benzotriazole (TTA). La détection et le mesurage de ces additifs doivent s'effectuer conformément à l'IEC 60666.

Plusieurs autres composés peuvent être utilisés comme additifs passivants des métaux, comme le N,N-bis(éthylhexyle-2)-1H-1,2,4-triazole-1-méthanamine (TAA), le diamino-bisulfure de diphenyle, l'acide nicotinique, l'hydroquinoline et d'autres composés à base de soufre, pour lesquels il n'existe pas de méthode d'essai IEC¹.

6.12.4 Abaisseurs de point d'écoulement

Ces additifs sont utilisés pour améliorer le point d'écoulement et la viscosité des huiles à très basses températures. La détection et le mesurage des deux principaux types d'additifs abaisseurs de point d'écoulement utilisés (polynaphtalènes et polyméthacrylates) doivent s'effectuer conformément à l'IEC 60666.

6.13 Stabilité à l'oxydation

L'oxydation de l'huile déclenche la formation d'acides et de boues. Ce phénomène peut être limité en utilisant des huiles ayant une stabilité à l'oxydation élevée, réduisant donc le plus possible les dépôts de boues et optimisant la durée de vie de l'isolation. La stabilité à l'oxydation est vérifiée par essai conformément à l'IEC 61125 et les limites sont indiquées dans le Tableau 3 et le Tableau 4. Pour des applications particulières, des limites plus strictes sont prévues. Dans certains pays, des limites plus sévères et/ou des exigences et essais supplémentaires peuvent être demandés.

Les durées d'essai pour les huiles contenant des inhibiteurs phénoliques doivent être celles indiquées dans le Tableau 3 et le Tableau 4. La durée d'essai pour les huiles contenant d'autres additifs antioxydants et des passivants de métaux doit être de 500 h.

Les huiles contenant des passivants doivent être soumises à l'essai de stabilité à l'oxydation avant l'ajout du passivant à l'huile, en utilisant les durées d'essai du Tableau 3 et du Tableau 4.

6.14 Point d'éclair

La sécurité d'exploitation des matériels électriques exige un point d'éclair suffisamment élevé qui est mesuré conformément à l'ISO 2719 (méthode Pensky-Martens en vase clos).

¹ L'Irgamet® 39 et l'Irgamet® 30 constituent respectivement des exemples de TTAA et TAA disponibles sur le marché. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que l'IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif des produits cités.

6.15 Composés aromatiques polycycliques (CAP) et hydrocarbures polyaromatiques (HPA)

Certains CAP étant classés comme cancérogènes, il est par conséquent nécessaire de les contrôler selon un niveau acceptable dans l'huile minérale isolante. Les CAP sont évalués dans les conditions de l'IP 346 après extraction avec du diméthylsulfoxyde (DMSO). Les huiles minérales isolantes doivent être considérées comme non cancérogènes si la teneur en CAP (mesurée par la méthode IP 346) est inférieure à 3 %.

Le Benzo(a)pyrène (BaP) et certains autres hydrocarbures polyaromatiques (HPA) ont été classés comme cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction, et peuvent être mesurés conformément à l'EN 16143.

NOTE Des limites acceptables de CAP et de HPA totaux ou individuels sont spécifiées dans certaines réglementations nationales et locales, par exemple, le REACH (<https://www.echa.europa.eu/candidate-list-table>).

6.16 Teneur en polychlorobiphényles (PCB)

L'huile minérale isolante doit être exempte de PCB. La méthode d'essai de référence est spécifiée dans l'IEC 61619.

NOTE Des limites acceptables de PCB totaux ou individuels sont spécifiées dans les réglementations nationales et locales. D'autres spécifications sont décrites dans la Directive Européenne 96/59/CE et dans les lignes directrices des Nations Unies pour l'identification des PCB et du matériel contenant des PCB.

6.17 Teneur en 2-furfural (2-FAL) et ses dérivés

Le 2-FAL et ses dérivés dans les huiles minérales isolantes peuvent provenir d'une mauvaise redistillation après extraction au solvant lors du raffinage ou du reraffinage, ou d'une contamination par une huile usagée.

Il convient que les huiles minérales isolantes présentent de faibles teneurs en 2-FAL et ses dérivés. Le mesurage doit être effectué conformément à l'IEC 61198.

NOTE Les dérivés sont: 5-hydroxyméthyl-2-furfural (5HMF), 2-alcool furfurylique (2FOL), 2-acétylfurane (2ACF) et 5-méthyl-2-furfural (5MEF).

Les dérivés furaniques sont des sous-produits du vieillissement du papier isolant dans les transformateurs immergés. La surveillance de la teneur en furfural des échantillons d'huile prélevés sur des transformateurs en service peut servir d'indication du vieillissement du papier. Il importe donc d'approvisionner de l'huile isolante dont la teneur en 2-furfural est nulle.

6.18 Teneur en DBDS

Ce composé est potentiellement corrosif à des températures de fonctionnement normales du transformateur, et peut produire du sulfure de cuivre. Une huile minérale isolante ne doit donc pas en contenir. La méthode d'essai pour la mesure du DBDS doit être conforme à l'IEC 62697-1.

6.19 Stray gassing sous contrainte thermo-oxydante

Le stray gassing sous contrainte thermo-oxydante (appelé stray gassing dans le présent document) caractérise la formation de gaz dans un liquide isolant en service à des températures considérées comme habituelles dans les conditions normales de fonctionnement (IEC 60076-7) en lien avec ses constituants et ne relevant pas d'un défaut interne du matériel électrique. Différents types de gaz ont été observés (hydrogène, méthane, éthane ou une combinaison de ces gaz, par exemple). Le stray gassing est accéléré par la teneur en oxygène, la présence de cuivre et la température. Toutefois, il a été observé tant dans les matériels respirants que dans les matériels étanches.

Le stray gassing peut avoir différentes origines, par exemple, le raffinage, les additifs. La définition utilisée ici ne tient pas compte de l'influence des matériaux incompatibles sur la formation de gaz dans l'huile. Dans la réalité, toutefois, le dégazage des peintures ou de certains types de polyéthylènes réticulés (XLPE - *cross-linked polyethylene*) ainsi que d'autres matériaux incompatibles peuvent contribuer à l'apparition de gaz non reliés à des défauts internes. La méthode utilisée dans le présent document et décrite à l'Annexe A n'en tient pas compte, étant donné que la compatibilité des matériaux relève du fabricant du matériel.

L'analyse des gaz dissous (DGA – *dissolved gas analysis*) est un outil qui a été développé pour identifier les conditions de défaut dans les matériels électriques à isolation liquide. Toutefois, les schémas d'évaluation les plus utilisés peuvent ne pas faire la distinction entre ce type de stray gassing et certains types de défaut et peuvent par conséquent conduire à une mauvaise interprétation.

Il est donc utile de disposer d'une méthode de caractérisation du stray gassing (sous contrainte thermo-oxydante) d'une huile donnée. Dans la pratique, il n'a pas été démontré que les gaz résultant uniquement du stray gassing sont dangereux pour le matériel, leur niveau se stabilisant habituellement au fil du temps. La méthode proposée fournit des informations utiles destinées à aider les utilisateurs à faire la distinction entre de véritables conditions de défaut dans un matériel électrique et le stray gassing dû à une contrainte thermo-oxydante. Il convient que les utilisateurs tiennent compte de cette caractérisation lors du choix d'une huile pour un matériel, afin qu'elle fasse partie intégrante des informations d'appui d'une analyse des gaz dissous effective.

La méthode utilisée dans le présent document et décrite à l'Annexe A est adaptée aux matériels électriques à isolation liquide et équipés d'enroulements en cuivre. Les profils de gaz peuvent être différents, dans une certaine mesure, selon que les enroulements en cuivre sont en réalité émaillés ou composés de conducteurs en aluminium. Cette méthode met en œuvre une température de 105 °C, qui est la température d'huile la plus élevée admissible en régime de charge cyclique normal conformément à l'IEC 60076-7, pendant 48 h (il a été démontré que des temps d'incubation plus longs n'augmentent pas la portée des résultats) en présence de cuivre (le cuivre améliore la formation de radicaux et est un métal utilisé dans les enroulements de la majorité des matériels électriques).

L'incubation à 105 °C peut être effectuée avec de l'huile saturée en air ou en azote et avec ou sans cuivre. Les essais dans toutes ces conditions peuvent s'avérer avantageux pour la qualification d'une nouvelle huile.

Les résultats de l'essai interlaboratoire ont démontré que la configuration la plus sévère de formation de gaz est celle de l'huile saturée en air en présence de cuivre. Les limites consignées dans le Tableau 3 reposent sur les essais réalisés dans ces conditions.

**Tableau 3 – Spécifications générales, Type A
(huiles de qualité supérieure totalement inhibées)**

Propriété	Méthode d'essai	Limites	
		Huile pour transformateurs	Huile pour appareillages de connexion basse température
1 – Fonction			
Viscosité à 40 °C	ISO 3104 ^a ou ASTM D7042	12 mm²/s au maximum	3,5 mm²/s au maximum
Viscosité à -30 °C ^b	ISO 3104 ^a ou ASTM D7042	1 800 mm²/s au maximum	–
Viscosité à -40 °C ^c	IEC 61868	–	400 mm²/s au maximum
Point d'écoulement	ISO 3016	–40 °C au maximum	-60 °C au maximum
Teneur en eau	IEC 60814	30 mg/kg ^d / 40 mg/kg ^e au maximum	

Propriété	Méthode d'essai	Limites	
		Huile pour transformateurs	Huile pour appareillages de connexion basse température
Tension de claquage	IEC 60156	30 kV / 70 kV ^f au minimum	
Masse volumique à 20 °C	ISO 12185 ^a ou ISO 3675 ou ASTM D7042	895 kg/m ³ au maximum	
FDD à 90 °C	IEC 60247 ^a ou IEC 61620	0,005 au maximum	
2 – Raffinage/stabilité			
Couleur	ISO 2049	L0,5 (inférieures à 0,5)	
Aspect	–	Limpide, exempt de dépôts et de matières en suspension	
Acidité	IEC 62021-2 ^a ou 62021-1	0,01 mg KOH/g au maximum	
Tension interfaciale	IEC 62961 ^a ou ASTM D971	43 mN/m au minimum	
Teneur totale en soufre	ISO 14596 ^a ou ISO 8754	0,05 % au maximum	
Soufre corrosif	DIN 51353	Non corrosif	
Soufre potentiellement corrosif	IEC 62535	Non corrosif	
DBDS	IEC 62697-1	Non détectable (< 5 mg/kg)	
Inhibiteurs de l'IEC 60666	IEC 60666	(I) Huile inhibée: 0,08 % à 0,40 % (voir 3.7)	
Additifs passivants des métaux de l'IEC 60666	IEC 60666	Non détectable (< 5 mg/kg), ou selon accord avec l'acheteur	
Autres additifs		Voir ^g	
Teneur en 2-furfural et ses dérivés	IEC 61198	Non détectable (< 0,05 mg/kg) pour chaque composé individuel	
Stray gassing sous contrainte thermo-oxydante	Procédure en A.4 (huile saturée en air) en présence de cuivre	Pas de stray gassing: < 50 µl/l d'hydrogène (H ₂) et < 50 µl/l de méthane CH ₄) et < 50 µl/l éthane (C ₂ H ₆)	
3 – Performances			
Stabilité à l'oxydation	IEC 61125: durée d'essai (I) Huile inhibée: 500 h	Pour les huiles contenant d'autres additifs antioxydants et des additifs passivants de métaux, voir 6.12.2	
– Acidité totale ^h	4.8.4 de l'IEC 61125:2018	0,3 mg KOH/g au maximum	
– Boue ^h	4.8.1 de l'IEC 61125:2018	0,05 % au maximum	
– FDD à 90 °C ^h	4.8.5 de l'IEC 61125:2018	0,050 au maximum	
4 – Hygiène, sécurité et environnement (HSE) ⁱ			
Point d'éclair	ISO 2719	135 °C au minimum	100 °C au minimum
Teneur en CAP ^j	IP 346	< 3 %	
Teneur en PCB	IEC 61619	Non détectable (< 2 mg/kg)	

Propriété	Méthode d'essai	Limites	
		Huile pour transformateurs	Huile pour appareillages de connexion basse température
a Méthode de référence. b Il s'agit de la TMDP standard pour une huile pour transformateur (voir 6.1); elle peut être ajustée aux conditions climatiques de chaque pays. Il convient que le point d'écoulement soit inférieur de 10 °C au moins à la TMDP. c TMDP standard pour l'huile pour appareillages de connexion basse température. d Pour la livraison en vrac. e Pour la livraison en fûts et dans des GRV. f Après traitement en laboratoire (voir 6.4). g Le fournisseur doit déclarer la famille chimique et la fonction de tous les additifs (3.3), ainsi que les concentrations dans le cas des inhibiteurs, des antioxydants et des passivants (3.4). h À la fin des essais de stabilité à l'oxydation. i Dans certains pays, il peut y avoir des exigences supplémentaires (REACH dans l'UE, par exemple). j Certains composés CAP individuels peuvent être déterminés par l'EN 16143.			

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60296:2020

Tableau 4 – Spécifications générales, Type B (huiles de qualité standard totalement non inhibées et inhibées)

Propriété	Méthode d'essai	Limites	
		Huile pour transformateurs	Huile pour appareillages de connexion basse température
1 – Fonction			
Viscosité à 40 °C	ISO 3104 ^a ou ASTM D7042	12 mm ² /s au maximum	3,5 mm ² /s au maximum
Viscosité à -30 °C ^b	ISO 3104 ^a ou ASTM D7042	1 800 mm ² /s au maximum	–
Viscosité à -40 °C ^c	IEC 61868	–	400 mm ² /s au maximum
Point d'écoulement	ISO 3016	–40 °C au maximum	-60 °C au maximum
Teneur en eau	IEC 60814	30 mg/kg ^d / 40 mg/kg ^e au maximum	
Tension de claquage	IEC 60156	30 kV / 70 kV ^f au minimum	
Masse volumique à 20 °C	ISO 12185 ^a ou ISO 3675 ou ASTM D7042	895 kg/m ³ au maximum	
FDD à 90 °C	IEC 60247 ^a ou IEC 61620	0,005 au maximum	
2 – Raffinage/stabilité			
Couleur	ISO 2049	1,5 au maximum	
Aspect	–	Limpide, exempt de dépôts et de matières en suspension	
Acidité	IEC 62021-2 ^a ou 62021-1	0,01 mg KOH/g au maximum	
Tension interfaciale	IEC 62961 ^a ou ASTM D971	40 mN/m au minimum	
Soufre corrosif	DIN 51353	Non corrosif	
Soufre potentiellement corrosif	IEC 62535	Non corrosif	
DBDS	IEC 62697-1	Non détectable (< 5 mg/kg)	
Inhibiteurs de l'IEC 60666	IEC 60666	Non inhibée (U): non détectable (< 0,01 %) Faiblement inhibée (T): ≥ 0,01 < 0,08% Huile inhibée (I): 0,08 % à 0,40 % (voir 3.5 à 3.7)	
Additifs passivants des métaux de l'IEC 60666	IEC 60666	Non détectable (< 5 mg/kg), ou selon accord avec l'acheteur	
Autres additifs		Voir ^g	
Teneur en 2-furfural et ses dérivés	IEC 61198	Non détectable (< 0,05 mg/kg) pour chaque composé individuel ^h	
3 – Performances			
Stabilité à l'oxydation	IEC 61125 Durée d'essai ⁱ (U) Huile non inhibée: 164 h (T) Huile faiblement inhibée: 332 h (I) Huile inhibée: 500 h	Pour les huiles contenant d'autres additifs antioxydants et des additifs passivants de métaux, voir 6.12.2	
– Acidité totale ^j	4.8.4 de l'IEC 61125:2018	1,2 mg KOH/g au maximum	
– Boue ^j	4.8.1 de l'IEC 61125:2018	0,8 % au maximum	
– FDD à 90 °C ^j	4.8.5 de l'IEC 61125:2018	0,500 au maximum	
4 – Hygiène, sécurité et environnement (HSE) ^k			
Point d'éclair	ISO 2719	135 °C au minimum	100 °C au minimum
Teneur en CAP ^l	IP 346	< 3 %	
Teneur en PCB	IEC 61619	Non détectable (< 2 mg/kg)	

Le stray gassing sous contrainte thermo-oxydante (voir 6.19) n'est pas inclus comme un essai normatif pour les huiles minérales de Type B, car les données sont insuffisantes pour déterminer les limites appropriées. Les exigences relatives à l'essai de stray gassing, ainsi que les valeurs limites, lorsqu'elles sont précisées, peuvent être négociées entre l'utilisateur et le fournisseur.

- ^a Méthode de référence.
- ^b Il s'agit de la TMDP standard pour une huile pour transformateur (voir 6.1); elle peut être ajustée aux conditions climatiques de chaque pays. Il convient que le point d'écoulement soit inférieur de 10 °C au moins à la TMDP.
- ^c TMDP standard pour l'huile pour appareillages de connexion basse température.
- ^d Pour la livraison en vrac.
- ^e Pour la livraison en fûts et dans des GRV.
- ^f Après traitement en laboratoire (voir 6.4).
- ^g Le fournisseur doit déclarer la fonction et la famille chimique de tous les additifs (3.3), ainsi que les concentrations dans le cas des inhibiteurs, des antioxydants et des passivants (3.4).
- ^h Dans le cadre d'un accord avec le client, les huiles dont la teneur en furfural est plus élevée peuvent être livrées lorsque ces valeurs ne compromettent pas l'application.
- ⁱ Dans certains pays, il peut y avoir des exigences moins strictes concernant la stabilité à l'oxydation.
- ^j À la fin des essais de stabilité à l'oxydation.
- ^k Dans certains pays, il peut y avoir des exigences supplémentaires (REACH dans l'UE, par exemple).
- ^l Certains composés CAP individuels peuvent être déterminés par l'EN 16143.

7 Propriétés supplémentaires

7.1 Généralités

La détermination des propriétés telles que la tendance à la charge électrostatique, la tendance au gassing et les propriétés thermiques peut être exigée pour certaines applications. Lorsque cela est exigé, ces mesurages doivent être réalisés selon une norme donnée et avec des limites spécifiques, négociées entre le fournisseur et l'utilisateur.

7.2 Tendance à la charge électrostatique (TCE)

La TCE est une propriété importante de l'huile pour certaines configurations de transformateurs haute tension (HT) et très haute tension (THT), dans lesquels les vitesses de pompage de l'huile peuvent déclencher l'accumulation de charges électrostatiques. Une décharge d'énergie peut en résulter et provoquer une défaillance du transformateur.

NOTE La brochure technique CIGRE 170 propose une méthode pour mesurer la TCE. Il a été signalé que la TCE peut être modifiée en utilisant les additifs passivants de métaux comme le BTA et le TTA.

7.3 Tendance au gassing

La tendance au gassing décrit la capacité de l'huile à absorber ou à produire des gaz lorsqu'elle est soumise à une contrainte électrique et à l'ionisation dans des conditions de laboratoire spécifiées. Certains utilisateurs privilégient une tendance au gassing faible pour des matériels particuliers tels que les transformateurs de mesure HT et les traversées. Les propriétés d'absorption de gaz peuvent être liées à la teneur en composés aromatiques de l'huile. La tendance au gassing doit être mesurée selon la méthode A de l'IEC 60628:1985.

NOTE 1 Des additifs comme le tétrahydronaphtalène-1,2,3,4-(tétraline), le mono- ou dibenzyltoluène et d'autres ont été proposés pour réduire la tendance au gassing de certaines huiles, mais ils ne sont pas décrits dans l'IEC 60666. Le mono et le dibenzyltoluène sont décrits dans l'IEC 60867.

NOTE 2 Si l'acheteur le demande, la tendance au gassing conformément à l'IEC 60628 peut faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur de l'huile.

7.4 Propriétés thermiques

Les performances thermiques d'un matériel électrique immergé exigent une bonne connaissance des caractéristiques thermiques de l'huile (la conductivité thermique, la capacité thermique massique, le coefficient de dilatation thermique, par exemple). Toutefois, elles ne sont pas considérées comme une acceptation, mais comme des paramètres de conception. La conductivité thermique mesure la variation de température d'un échantillon liquide en fonction d'une quantité d'énergie connue, et peut être vérifiée par essai conformément à l'ASTM D7896. La capacité thermique massique mesure la capacité de l'huile à absorber l'énergie thermique, et est vérifiée par essai conformément à l'ASTM E1269. Le coefficient de dilatation thermique est déterminé conformément à l'ASTM D1903.

7.5 Propriétés liées à la composition (teneur en composés aromatiques, distribution des CAP, indice de réfraction)

Les huiles minérales contiennent différents types de structures aromatiques, mono-, di-, tri- et polyaromatiques. La quantité de composés aromatiques, mesurée conformément à l'IEC 60590, et leur distribution (mono-, di-, tri- et poly-aromatique, à mesurer conformément à l'ASTM D6591) sont celles d'un produit donné à base d'huile, et peuvent apporter des informations pertinentes sur sa continuité dans le temps de sa composition. Le même principe est valable pour l'indice de réfraction, qui est lié à la composition de l'huile et au procédé de raffinage, et qui peut être déterminé conformément à la DIN 51423-1 (méthode de référence) ou à l'ASTM D1218.

7.6 Propriétés lubrifiantes

Les parties mécaniques d'un matériel, telles que les changeurs de prises plongés et fonctionnant dans le liquide isolant, exigent que le liquide présente de bonnes propriétés lubrifiantes, lesquelles peuvent être vérifiées par essai conformément à la DIN 51350-3 (méthode de référence) ou l'ASTM D4172.

7.7 Teneur en particules

Les particules dans une huile minérale isolante peuvent provenir de la fabrication, du stockage ou de la manipulation de l'huile, et peuvent affecter sa tension de claquage (voir 6.4). La teneur en particules et en humidité agit de manière synergique sur la résistance au claquage. Le mesurage doit être effectué conformément à l'IEC 60970.

NOTE La teneur en particules dans les fûts à la livraison de l'huile peut faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et le client, sur la base de références statistiques à la livraison.

7.8 Formation de mousse

Les contaminations par silicone, phtalates ou autres produits chimiques ou huiles tensioactifs peuvent provoquer la formation de mousse non souhaitée – voir Annexe C.

7.9 Équivalents d'essai d'huile pour transformateurs

Le Tableau D.1 de l'Annexe D présente certains équivalents d'essai d'huile pour transformateurs.