Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

IEC 60156

Edition 3.0 2018-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method

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



IEC 60156:2018-08(en-fr)

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2018 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 Varembé
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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue
The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org
The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions 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.

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.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue
Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org
Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions 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.

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.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

IEC 60156

Edition 3.0 2018-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.040

ISBN 978-2-8322-5959-7

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD....4
INTRODUCTION....6
1 Scope....7
2 Normative references....7
3 Terms and definitions....7
4 Electrical apparatus....7
4.1 General....7
4.2 Voltage regulator....7
4.3 Step-up transformer....8
4.4 Switching system....8
4.5 Current-limiting resistors....8
4.6 Measuring system....8
5 Test assembly....8
5.1 General....8
5.2 Test cell....9
5.3 Electrodes....9
5.4 Stirring device....10
6 Preparation of electrodes....10
7 Test assembly preparation....10
8 Sampling....11
9 Test procedure....11
9.1 Sample preparation....11
9.2 Filling of the cell....11
10 Application of the voltage....11
11 Report....12
12 Test data dispersion and reproducibility....12
12.1 Test data dispersion....12
12.2 Reproducibility....13
Annex A (informative) Improved test method....14
A.1 Test procedure for improved test method....14
A.2 Report....15
Annex B (informative) Special test methods for low volume samples....16
B.1 Low volume sample test....16
Annex C (informative) Representative material for a performance test....18
Bibliography....19

Figure 1 – Examples of test cells with spherical electrodes 12,5 mm to 13,0 mm diameter....9
Figure 2 – Examples of test cells with partially spherical electrodes with 25 mm radius and diameter of 36 mm....9
Figure 3 – Graphical representation of coefficient of variation versus mean breakdown voltage....13
Figure A.1 – Example of a sequence of breakdown shots for determination of the breakdown voltage....15

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Figure B.1 – Example of low volume test cell, fixed electrode distance of 2 mm with 2 ml active volume under dielectric stress 16

Figure B.2 – Example of low volume test cell, fixed electrode distance of 2,5 mm (150 ml to 200 ml).....17

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

INSULATING LIQUIDS – DETERMINATION OF THE BREAKDOWN VOLTAGE AT POWER FREQUENCY – TEST METHOD

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 60156 has been prepared by IEC technical committee TC 10: Fluids for electrotechnical applications.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1995. This edition constitutes a technical revision and, mainly, confirms the content of the previous edition even if some advances are included. The test method has not been changed for practical reason due to the very large number of instrumentation disseminated around the world, although the use of stirring is now recommended.

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

FDIS	Report on voting
10/1061/FDIS	10/1065/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 website 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.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

INTRODUCTION

As normally applied, breakdown voltage of insulating liquids is not a basic material property but an empirical test procedure intended to indicate the presence of contaminants such as water and solid suspended matter and the advisability of carrying out a drying and filtration treatment.

The AC breakdown voltage value of insulating liquids strongly depends on the particular set of conditions used in its measurement. Therefore, standardized testing procedures and equipment are essential for the unambiguous interpretation of test results.

The method described in this document applies to either acceptance tests on new deliveries of insulating liquids, or testing of treated liquids prior to or during filling into electrical equipment, or to the monitoring and maintenance of oil-filled apparatus in service. It specifies rigorous sample-handling procedures and temperature control that should be adhered to when certified results are required. For routine tests, especially in the field, less stringent procedures may be practicable and it is the responsibility of the user to determine their effect on the results.

Annex A (informative) describes, for comparison, an alternative test method which could be introduced in the future. Annex B (informative) describes special test methods, using cells which may include low volume samples. Annex C (informative) describes a reference material for a performance test and check according to IEC 60060-3[1][1].

---

1 Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

INSULATING LIQUIDS – DETERMINATION OF THE BREAKDOWN VOLTAGE AT POWER FREQUENCY – TEST METHOD

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

1 Scope

This document specifies the method for determining the dielectric breakdown voltage of insulating liquids at power frequency. The test procedure is performed in a specified apparatus, where the oil sample is subjected to an increasing AC electrical field until breakdown occurs. The method applies to all types of insulating liquids of nominal viscosity up to 350 mm^2/s at 40 °C. It is appropriate both for acceptance testing on unused liquids at the time of their delivery and for establishing the condition of samples taken in monitoring and maintenance of equipment.

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 60475, *Method of sampling insulating liquids*

3 Terms and definitions

No terms and definitions are listed in this document.

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

4 Electrical apparatus

4.1 General

The electrical apparatus consists of the following units:

1) voltage regulator,
2) step-up transformer,
3) switching system,
4) current-limiting resistors,
5) measuring device.

Two or more of these units may be integrated in any equipment system.

4.2 Voltage regulator

The test voltage shall be increased with an automatic control of the required uniform voltage rate of rise. The device should not introduce harmonics disturbances (< 3%) and the AC source should be free from harmonics.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

4.3 Step-up transformer

The test voltage is obtained by using a step-up or resonant transformer supplied from an AC source using 48 Hz to 62 Hz (sinusoidal waveform). The voltage source value is constantly increased. The controls of the variable low-voltage source shall be capable of varying the test voltage smoothly, uniformly and without overshoots or transients. Incremental increases (produced, for example, by a variable auto-transformer or an amplifier) shall not exceed 2 % of the expected breakdown voltage.

The centre-point of the secondary winding of the transformer should be connected to earth.

4.4 Switching system

The circuit shall be opened automatically if a sustained arc between the electrodes occurs and the voltage between the electrodes collapses to a voltage less than 500 V. The primary circuit of the step-up transformer shall be fitted with a circuit-breaker operated by the current sensing device, resulting from the breakdown of the sample and shall break the voltage within 10 ms.

The sensitivity of the current or voltage sensing element depends on the energy-limiting device employed and only approximate guidance can be given.

A cut-off time of < 100 µs, as given in the previous edition of this document, is needed to perform multiple breakdowns on silicone liquids.

4.5 Current-limiting resistors

To protect the equipment and to avoid excessive decomposition at the instant of breakdown of liquids such as silicone or ester liquids, a resistance limiting the breakdown current shall be inserted in series with the test cell.

The short-circuit current of the transformer and associated circuits shall be within the range of 10 mA to 25 mA for all voltages higher than 15 kV. This may be achieved by a combination of resistors in either or both the primary and secondary circuits of the high-voltage transformer.

4.6 Measuring system

For the purposes of this document, the magnitude of the test voltage is defined as its peak value divided by $\sqrt{2}$.

The output voltage of the step-up transformer may be measured by means of a measuring system consisting of a voltage divider or a measuring winding of the step-up transformer coupled with a peak-voltmeter. The measuring system shall be calibrated up to the upper scale voltage to be measured. A method of calibration which has been found satisfactory is the use of a transfer standard. This is an auxiliary measuring device which is connected in place of the test cell between the high-voltage terminals to which it presents an impedance similar to the one of the sample liquid. The auxiliary device is separately calibrated against a primary standard [2],[3].

5 Test assembly

5.1 General

The breakdown voltage test is performed following the method described herewith as a routine test.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

5.2 Test cell

The volume of the cell shall be between 350 ml and 600 ml.

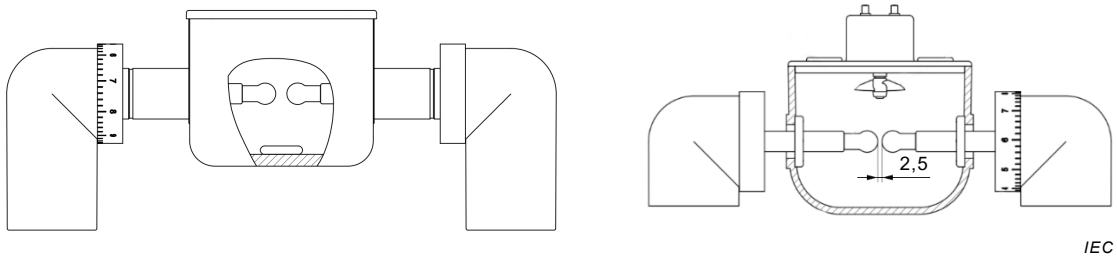
The cell shall be made from electrically insulating materials, that are not hygroscopic. The cell shall be transparent and chemically inert, resistant to the insulating liquid and to the cleaning agent that shall be used. A glass cell is the preferred option.

The cell shall be provided with a cover and shall be designed to permit easy removal of the electrodes for cleaning and maintenance. To improve homogenization of the test liquid, a rounded bottom shape of the cell is recommended. Containers and covers shall be cleaned by washing with a suitable solvent or clean insulating liquid to remove residues of an earlier sample. After cleaning, containers shall be immediately capped and kept closed until used again. Electrodes shall be stored in clean insulating liquids.

NOTE It is preferable, in the case of esters, to use similar liquid to store the electrodes.

Examples of suitable cell designs are given in Figures 1 and 2.

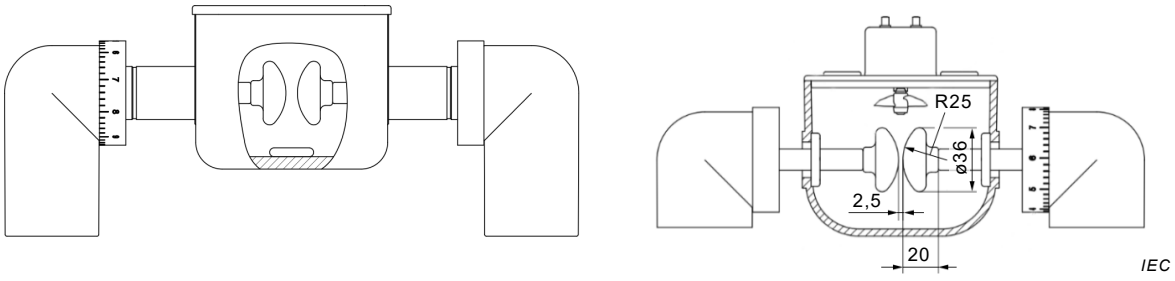
Dimensions in millimetres



NOTE The stirring device can be mounted on the top (right side figure) or on the bottom (left side figure). The stirring device position and Vernier shifter are reported only as reference.

Figure 1 – Examples of test cells with spherical electrodes 12,5 mm to 13,0 mm diameter

Dimensions in millimetres



NOTE The stirring device can be mounted on the top (right side figure) or on the bottom (left side figure). The stirring device position and Vernier shifter are reported only as reference.

Figure 2 – Examples of test cells with partially spherical electrodes with 25 mm radius and diameter of 36 mm

5.3 Electrodes

The electrodes shall be made either of brass, bronze or austenitic stainless steel. They shall be polished and, in shape, either spherical (12,5 mm to 13,0 mm diameter) as shown in Figure 1 or in partially spherical shape (25 mm ± 0,25 mm radius) as shown in Figure 2. The axis of the electrode system shall be horizontal and shall be at least 40 mm below the surface

of the test liquid. Any part of the cell or stirrer shall not influence the electric field between the electrodes. The gap between the electrodes shall be 2,50 mm ± 0,05 mm.

The electrodes shall be examined frequently for pitting or other damage and shall be maintained or replaced as soon as such damage is observed.

NOTE The electrodes can be replaced or refurbished typically after 5 000 single breakdowns. The surface of the electrodes can be polished with a maximum grain diameter of 10 µm. The limit of the arithmetical mean deviation of the roughness profile of the electrodes can be Ra ≤ 0,5 µm, according to ISO 4287[4].

5.4 Stirring device

The use of an automatic stirring device is recommended, to be used at all times throughout the test.

The stirrer shall be mounted in the test cell in order to maximize the homogenization of the liquid. It shall be designed so that it is easily cleaned. Stirring shall be achieved by means of a two-bladed or appropriate stirrer of effective diameter 25 mm to 35 mm, axial depth 5 mm to 10 mm, rotating at a speed of 200 r/min to 300 r/min. The stirrer shall not produce air bubbles. It shall be fully immersed in the liquid sample. Examples of stirring systems mounted in test cells are reported in Figures 1 and 2.

NOTE 1 To avoid bubbles between the electrodes the stirrer can rotate preferably in such a direction that bubbles can be removed [5].

NOTE 2 The stirring device can be mounted on the top or on the bottom. In Figures 1 and 2, the stirring device position is reported only as reference.

NOTE 3 A magnetic stirring device can be also used.

6 Preparation of electrodes

New electrodes shall be cleaned and fulfil the requirements of 5.3. Preparation of the electrodes shall be according to the following procedure:

– clean all surfaces with a suitable volatile solvent and allow the solvent to evaporate;
– polish with fine abrasive powder (for example, jeweller’s rouge) or abrasive paper or cloth, for example crocus cloth (see 5.3);
– after polishing, clean with petroleum spirit (reagent quality: boiling range of about 40 °C to 80 °C) followed by acetone (reagent quality);
– assemble the electrodes in the cell, fill with a clean, unused insulating liquid of the type to be tested;
– before the first breakdown test, raise the voltage until breakdown 24 times.

This procedure shall be repeated after each cleaning or change of electrodes.

7 Test assembly preparation

It is recommended that a separate test cell assembly be reserved for different insulating liquid types.

Test assemblies shall be stored in a dry place, covered and filled with dry insulating liquid of the type in regular use in the cell.

On change of the type of liquid under test, remove all residues of the previous liquid with an appropriate solvent, rinse the assembly with a clean, dry liquid of the same type as the one to be tested, drain and refill.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

8 Sampling

Sampling shall be carried out in accordance with IEC 60475.

NOTE Breakdown voltage is extremely sensitive to the slightest contamination of the sample by water and particulate matter. Special precautions can be implemented to avoid contamination of the sample and the need for trained personnel and experienced supervision. Unless otherwise required, the sample is taken where the liquid is likely to be most contaminated, usually at the lowest point of the container holding it.

The test is carried out, unless otherwise specified, on the sample as received without drying or degassing.

9 Test procedure

9.1 Sample preparation

Immediately before filling the test cell, the sample container is gently agitated and turned over several times in such a way as to ensure, as far as possible, a homogeneous distribution of the impurities contained in the liquid without causing the formation of air bubbles.

A possible method is an automatic rotation of the sample container horizontally for 1 min with a recommended speed of 30 r/min.

Equilibrate the sample to room temperature. Unnecessary exposure to the ambient air of the sample shall be avoided.

9.2 Filling of the cell

Immediately before commencing the test, drain the test cell and rinse the walls, electrodes and other component parts, with the test liquid. Drain and slowly fill with the test liquid avoiding the formation of air bubbles.

Measure and record the temperature of the liquid.

10 Application of the voltage

At the time of test, the temperatures shall be maintained at room temperature (20 °C ± 5 °C).

Adjust the electrode gap distance to 2,5 mm ± 0,05 mm with a vernier or other system and start the stirrer. The stirrer, if used, shall run continuously throughout the test.

Metallic gauges can damage the surface of the electrodes; hence, they have to be avoided.

The first application of voltage is started approximately 5 min after completion of filling and checking that no air bubbles are visible in the electrode gap. Apply voltage to the electrodes and uniformly increase voltage from zero at the rate of 2,0 kV/s ± 0,2 kV/s until breakdown occurs.

The breakdown voltage is the maximum voltage reached at the time the circuit is opened either automatically (established arc) or manually (visible or audible discharge detected).

Record the value in kilovolts.

Carry out six breakdowns on the same cell filling allowing a pause of at least 2 min after each breakdown before re-application of voltage. Check that no gas bubbles are present within the electrode gap.

Calculate the mean value of the six breakdowns, standard deviation and related coefficient of variation (ratio between standard deviation and mean breakdown voltage).

For insulating liquids having a nominal viscosity higher than 15 mm^2/s (40°C), the resting time before application of the voltage shall be increased in the range of 15 min to 30 min. In addition, the resting time between two consecutive shots shall also be increased accordingly.

11 Report

The report shall include:

– sample identification, possibly including the type of insulating liquids;
– value of each individual breakdown in kilovolts;
– mean breakdown value;
– type of electrodes used;
– temperature of the liquid (in the test cell);
– coefficient of variation (%) (optional);
– frequency of the test voltage (optional);
– stirring arrangement (optional).

In the case where the individual breakdown voltage is above the maximum equipment voltage capability, the result shall be reported as greater than the maximum voltage capability (example: > 80 kV).

12 Test data dispersion and reproducibility

12.1 Test data dispersion

The graphical representation of Figure 3 indicates the values of the coefficient of variation and its mean value which have been found in a large body of test data in several laboratories using transformer liquids. The solid line in the graph shows the distribution of the coefficient of variation as a function of the mean breakdown value. The dotted lines indicate the expected 2,5 % (0,025) to 97,5 % (0,975) range of values of standard deviation (SD)/mean as a function of the value of the mean.

Typical coefficients of variation reported in Figure 3 are for information only and do not represent an acceptance criteria for the obtained results.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

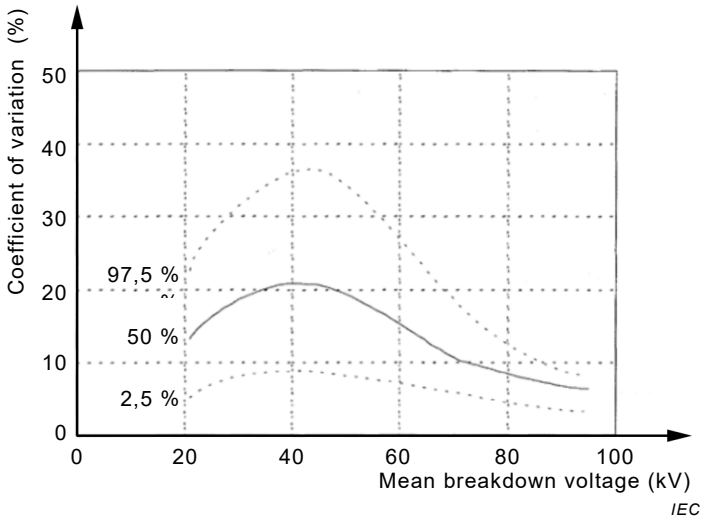


Figure 3 – Graphical representation of coefficient of variation versus mean breakdown voltage

12.2 Reproducibility

Experience has shown that the reproducibility of individual dielectric breakdown values is in the range of ±30 %.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Annex A
(informative)

Improved test method

A.1 Test procedure for improved test method

Annex A describes an improved test method, believed to be able to reduce the scatter of the results of breakdown voltage, which may be used [5],[6],[7]. The results obtained using both methods around the world during the following years will assist in a future choice when this document is revised.

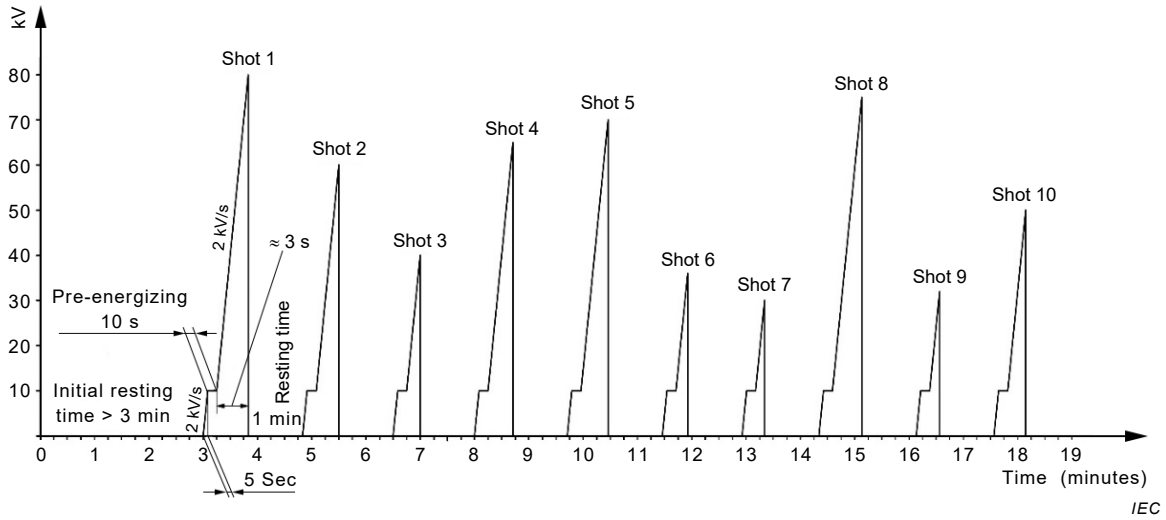
Use the same instrument and prepare the test according to Clauses 4 to 9. Instead of the procedure described in Clause 10, follow the procedure described hereafter (Figure A.1):

NOTE The software of the device can be aligned with the procedure described in Annex A.

1) The first application of voltage is started at least 5 min after completion of filling and after checking that the liquid under test is free from air bubbles.
2) Apply voltage to the electrodes uniformly and increase the voltage from zero at the rate of 2 kV/s ± 0,2 kV/s until 10 kV is reached.
3) Maintain the 10 kV level for 10 s, then continue with a rate of voltage rise of 2 kV/s ± 0,2 kV/s until a breakdown occurs.
4) The breakdown voltage shall be recorded at the maximum voltage reached.
5) Carry out 10 breakdowns on the same filling, allowing a pause of at least 1 min after each breakdown before re-application of the test voltage. Record each single breakdown. Calculate the test results as the average and coefficient of variation (ratio between standard deviation and mean breakdown voltage) of the remaining six results after disregarding the two highest and two lowest results.
6) When the coefficient of variation of the test result (mean breakdown voltage) exceeds the upper limit (Figure 3), the test procedure should proceed for the other 10 breakdowns, repeating the procedure from 2) to 6) with the same sample liquid. Record also the results of these additional breakdowns. Calculate the test results as the average and coefficient of variation of the remaining 12 results after disregarding the four highest and four lowest results.

For insulating liquids having a nominal viscosity higher than 15 mm^2/s (40°C), the resting time before application of the voltage shall be increased in the range of 15 min to 30 min. In addition, the resting time between two consecutive shots shall also be increased accordingly.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020



In the average calculation, the results of four outliers (two highest and two lowest values) have to be discarded (in this example, shots 1 and 8 are the highest and shots 7 and 9 are the lowest).

Figure A.1 – Example of a sequence of breakdown shots for determination of the breakdown voltage

A.2 Report

See Clause 11.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Annex B
(informative)

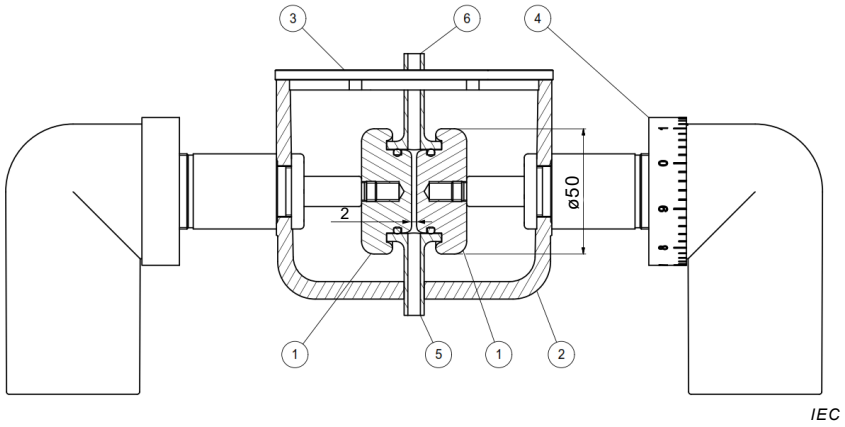
Special test methods for low volume samples

B.1 Low volume sample test

The special test method reported in this annex is suggested for use with low sample volumes. A limited body of data has shown that the results obtained are comparable to the results obtained from the method described in the main body of this document. Examples of the reduced volume test cell are shown in Figures B.1 and B.2.

A fast test on-site may require small portable testers, able to measure the breakdown voltage of insulating liquids (in either direct current or alternating current). An example of such instruments is a Cockcroft-Walton generator, which utilizes a small electrode gap cell and measuring instrumentation. The cell in such an instrument also requires very small quantities of test liquid.

NOTE The results obtained with such portable instruments cannot be used for diagnostic purposes. Results can differ significantly unless comparability has been established.



Key

1 partially spherical electrodes, rounded disk electrode, 50 mm diameter, 2 mm gap
2 oil filled cup, test cell HV insulation
3 cover
4 electrode distance control
5 sample inlet
6 sample outlet

Figure B.1 – Example of low volume test cell, fixed electrode distance of 2 mm with 2 ml active volume under dielectric stress

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Dimensions in millimetres

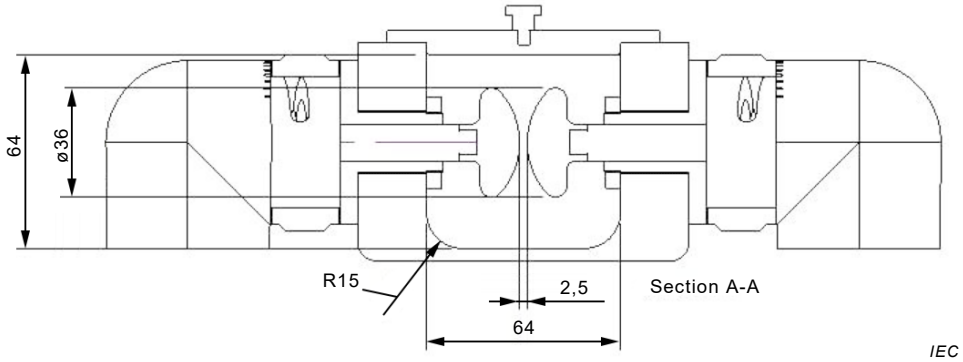


Figure B.2 – Example of low volume test cell, fixed electrode distance of 2,5 mm (150 ml to 200 ml)

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Annex C
(informative)

Representative material for a performance test

The reference analysis may be used as a performance check to prove that the test system is fit for use according to IEC 60060-3.

The representative material shall be unused, filtered and degassed mineral, silicone or ester liquids. The minimum quality requirement of the liquid shall be according to IEC relevant standards.

If the test result does not reach the required > 70 kV value, check the functionality of the equipment, or prepare a fresh representative material sample and carry out a new performance check.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Bibliography

[1] IEC 60060-3, *High-voltage test techniques – Part 3: Definitions and requirements for on-site testing*

[2] IEC 60052:2002, *Voltage measurement by means of standard air gaps*

[3] IEC 60060-2:2010, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

[4] ISO 4287, *Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method –Terms, definitions and surface texture parameters*

[5] Elektrische Festigkeit von Isolieröl, Dissertation von G. J. Pukel TU Graz, 2004, ISBN 978-3-85133-060-1

[6] M. Baur, M. Pompili, R. Bartnikas, “A comment on the test methods for the breakdown voltage of dielectric liquids”, IEEE Trans. Dielectric Electric Insulation, Vol. 19, p 1 482-1 484, 2012

[7] M. Baur, L. Calcara, M. Pompili, “Scatter Reduction of the 50-60 Hz Breakdown Voltage Test for Insulating Liquids”, IEEE Trans. Dielectric Electric Insulation, Vol. 22, Issue 5, page 2401-2407, October 2015

[8] M. Baur, J. Knauel, L. Calcara, M. Pompili, “Insulating Liquids Breakdown Voltage Determination: Test Method Efficiency”, ICDL 2017, paper 1239, Manchester

[9] T. J. Lewis, “Mechanism of electrical breakdown in saturated hydrocarbon liquids”, Journal of Applied Physics, Vol. 27, pp. 645-650, 1956

[10] E. O. Forster, “Critical Assessment of the Electrical Breakdown Process in Dielectric Fluids”, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 20, pp. 891-896, 1985

[11] E.O. Forster, C. Mazzetti and M. Pompili “Electrical breakdown in dielectric fluids: a review of old a new concept”, L’Energia Elettrica, Vol. LXVII, pp. 1-19, 1990

[12] IEC 60296, *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

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

_____

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 22
INTRODUCTION 24
1 Domaine d'application 25
2 Références normatives 25
3 Termes et définitions 25
4 Appareillage électrique 25
4.1 Généralités 25
4.2 Régulateur de tension 25
4.3 Transformateur élévateur 26
4.4 Disjoncteur 26
4.5 Résistances de limitation de courant 26
4.6 Système de mesure 26
5 Dispositif d'essai 27
5.1 Généralités 27
5.2 Cellule d'essai 27
5.3 Électrodes 28
5.4 Agitateur 28
6 Préparation des électrodes 29
7 Préparation du dispositif d'essai 29
8 Échantillonnage 29
9 Procédure d'essai 29
9.1 Préparation de l'échantillon 29
9.2 Remplissage de la cellule 30
10 Application de la tension 30
11 Rapport 30
12 Dispersion des résultats et reproductibilité 31
12.1 Dispersion des résultats 31
12.2 Reproductibilité 31
Annexe A (informative) Méthode d'essai améliorée 32
A.1 Procédure d'essai pour une méthode d'essai améliorée 32
A.2 Rapport 33
Annexe B (informative) Méthodes d'essai spéciales pour échantillons de faible volume 34
B.1 Essai sur les échantillons de faible volume 34
Annexe C (informative) Matériau représentatif pour un essai de détermination des caractéristiques 36
Bibliographie 37

Figure 1 – Exemples de cellules d'essai avec des électrodes sphériques de diamètre compris entre 12,5 mm et 13,0 mm 27
Figure 2 – Exemples de cellules d'essai avec des électrodes hémisphériques d'un rayon de 25 mm et d'un diamètre de 36 mm 28
Figure 3 – Représentation graphique du coefficient de variation en fonction de la tension de claquage moyenne 31
Figure A.1 – Exemple d'une séquence de claquages pour la détermination de la tension de claquage 33

Figure B.1 – Exemple de cellule d'essai de faible volume, distance fixe entre électrodes de 2 mm avec 2 ml de volume actif sous contrainte diélectrique 34

Figure B.2 – Exemple de cellule d'essai de faible volume, distance fixe entre électrodes de 2,5 mm (150 ml à 200 ml) 35

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

ISOLANTS LIQUIDES – DÉTERMINATION DE LA TENSION DE CLAQUAGE À FRÉQUENCE INDUSTRIELLE – MÉTHODE D'ESSAI

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 60156 a été établie par le comité d'études 10 de l'IEC: Fluides pour applications électrotechniques.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1995. Cette édition constitue une révision technique et valide essentiellement le contenu de l'édition précédente même si elle comporte certaines améliorations. La méthode d'essai n'a pas été modifiée pour des raisons pratiques et du fait du très grand nombre de dispositifs de mesure utilisés au niveau international, même si l'emploi de l'agitateur est maintenant recommandé.

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

FDIS	Rapport de vote
10/1061/FDIS	10/1065/RVD

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

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.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

INTRODUCTION

La tension de claquage des isolants liquides, telle qu'elle est généralement appliquée, n'est pas une propriété fondamentale du matériau, mais une procédure d'essai empirique destinée à révéler la présence de produits contaminants comme l'eau ou des matières solides en suspension, et permettre ainsi de décider de l'opportunité d'effectuer un traitement de séchage et de filtration.

La valeur de la tension de claquage sous courant alternatif des isolants liquides dépend beaucoup de l'ensemble des conditions particulières appliquées pour son mesurage. En conséquence, des procédures d'essai et un équipement normalisés sont essentiels pour interpréter sans ambiguïté les résultats d'essai.

La méthode décrite dans le présent document s'applique soit aux essais de réception de nouvelles livraisons d'isolants liquides, soit aux essais de liquides traités, avant ou pendant le remplissage de matériels électriques, soit à la surveillance et à la maintenance des appareils remplis d'huile en service. Elle spécifie des méthodes rigoureuses de manipulation des échantillons et de vérification des températures auxquelles il convient de se conformer quand des résultats certifiés sont exigés. Pour les essais de routine, notamment sur le terrain, des procédures moins rigoureuses peuvent être appliquées et il revient alors à l'utilisateur de déterminer leurs effets sur les résultats obtenus.

L'Annexe A (informative) décrit, à titre de comparaison, une autre méthode d'essai qui pourrait être adoptée à l'avenir. L'Annexe B (informative) décrit des méthodes d'essai spéciales utilisant des cellules qui peuvent contenir des échantillons de faible volume. L'Annexe C (informative) décrit un matériau de référence pour un essai de détermination des caractéristiques ou un contrôle de caractéristiques conformément à l'IEC 60060-3[1][1].

---

1 Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

ISOLANTS LIQUIDES – DÉTERMINATION DE LA TENSION DE CLAQUAGE À FRÉQUENCE INDUSTRIELLE – MÉTHODE D'ESSAI

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie la méthode de détermination de la tension de claquage diélectrique des isolants liquides à fréquence industrielle. La procédure d'essai est réalisée dans un appareil spécifié dans lequel l'échantillon d'huile est soumis à un champ électrique alternatif croissant jusqu'à l'obtention du claquage. La méthode est applicable à tous les types d'isolants liquides de viscosité nominale allant jusqu'à 350 mm^2/s à 40 °C. Elle convient aussi bien pour les essais de réception de liquides neufs à la livraison que pour définir l'état des échantillons prélevés lors de la surveillance et de la maintenance des matériels.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 60475, *Méthode d'échantillonnage des liquides isolants*

3 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

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

4 Appareillage électrique

4.1 Généralités

L'appareillage électrique se compose des éléments suivants:

1) régulateur de tension,
2) transformateur élévateur,
3) disjoncteur,
4) résistances de limitation de courant,
5) dispositif de mesure.

Deux de ces éléments ou plus peuvent être réunis dans un système de mesure intégré.

4.2 Régulateur de tension

La tension d'essai doit être augmentée à l'aide d'un réglage automatique de la vitesse uniforme exigée de montée en tension. Il convient que le dispositif ne crée pas de perturbations harmoniques (< 3 %) et que la source de tension alternative soit exempte d'harmonique.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

4.3 Transformateur élévateur

La tension d'essai est obtenue au moyen d'un transformateur élévateur ou à résonance alimenté à partir d'une source de tension alternative dans la plage de fréquences comprise entre 48 Hz et 62 Hz (forme d'onde sinusoïdale). La valeur de la source de tension est augmentée de façon continue. Les commandes de la source basse tension variable doivent être capables de faire varier la tension d'essai sans à-coups, d'une manière uniforme, et sans oscillations ni transitoires de tension. L'incrémentation (obtenue, par exemple, à l'aide d'un autotransformateur variable ou d'un amplificateur) ne doit pas dépasser 2 % de la tension de claquage attendue.

Il convient que le point milieu de l'enroulement secondaire du transformateur soit relié à la terre.

4.4 Disjoncteur

Le circuit doit être automatiquement ouvert quand un arc maintenu se produit entre les électrodes et quand la tension entre les électrodes chute jusqu'à une valeur inférieure à 500 V. Le circuit primaire du transformateur élévateur doit être équipé d'un disjoncteur fonctionnant sous l'action du détecteur du courant qui résulte du claquage de l'échantillon et doit couper la tension en moins de 10 ms.

La sensibilité des dispositifs détecteurs de courant ou de tension dépend du dispositif de limitation d'énergie utilisé et seules des recommandations approximatives peuvent être fournies.

Un temps de coupure < 100 µs, tel qu'indiqué dans l'édition précédente du présent document, est nécessaire pour réaliser plusieurs claquages sur les liquides silicones.

4.5 Résistances de limitation de courant

Afin de protéger le matériel et pour éviter une décomposition excessive au moment du claquage des liquides (par exemple, liquides silicones ou esters), une résistance de limitation du courant de claquage doit être insérée en série avec la cellule d'essai.

Le courant de court-circuit du transformateur et de ses circuits associés doit être compris entre 10 mA et 25 mA pour toutes les tensions supérieures à 15 kV. Ce résultat peut être obtenu par une combinaison de résistances placées dans l'un ou l'autre des circuits primaire ou secondaire du transformateur haute tension ou dans les deux circuits.

4.6 Système de mesure

Dans le cadre du présent document, l'amplitude de la tension d'essai est définie par sa valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$.

La tension de sortie du transformateur élévateur peut être mesurée au moyen d'un système de mesure comprenant un diviseur de tension ou un enroulement de mesure du transformateur élévateur relié à un voltmètre de crête. Le système de mesure doit être étalonné jusqu'à la tension maximale à mesurer. L'utilisation d'un étalon de transfert est une méthode d'étalonnage qui s'est révélée satisfaisante. Il s'agit d'un dispositif de mesure auxiliaire placé entre les bornes haute tension, à la place de la cellule d'essai, et présentant une impédance identique à celle du liquide en essai. Ce dispositif auxiliaire est étalonné séparément à partir d'un étalon primaire [2],[3].

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

5 Dispositif d'essai

5.1 Généralités

L'essai de tension de claquage est réalisé selon la méthode décrite ci-après comme essai de routine.

5.2 Cellule d'essai

Le volume de la cellule doit être compris entre 350 ml et 600 ml.

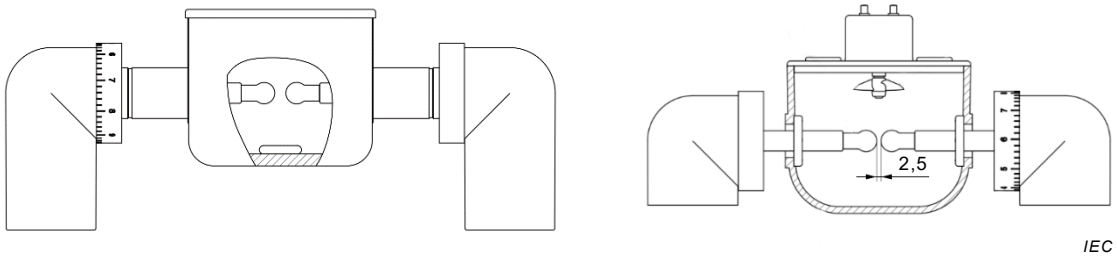
La cellule doit être constituée de matériaux isolants électriques qui ne sont pas hygroscopiques. La cellule doit être transparente, chimiquement inerte et résistante à l'isolant liquide ainsi qu'au produit de nettoyage qui doit être utilisé. La cellule en verre est celle à utiliser de préférence.

La cellule doit être équipée d'un couvercle et doit être conçue de manière à permettre le démontage facile des électrodes pour leur nettoyage et leur maintenance. Pour améliorer l'homogénéisation du liquide en essai, il est recommandé d'utiliser une cellule à fond arrondi. Les récipients et les couvercles doivent être nettoyés avec un solvant approprié ou un isolant liquide propre afin d'éliminer toute trace d'un échantillon antérieur. Après nettoyage, les récipients doivent être immédiatement couverts et rester fermés jusqu'à ce qu'ils soient utilisés à nouveau. Les électrodes doivent être stockées dans des isolants liquides propres.

NOTE Il est préférable, dans le cas des esters, d'utiliser un liquide similaire pour stocker les électrodes.

Les Figures 1 et 2 présentent des exemples de cellules appropriées.

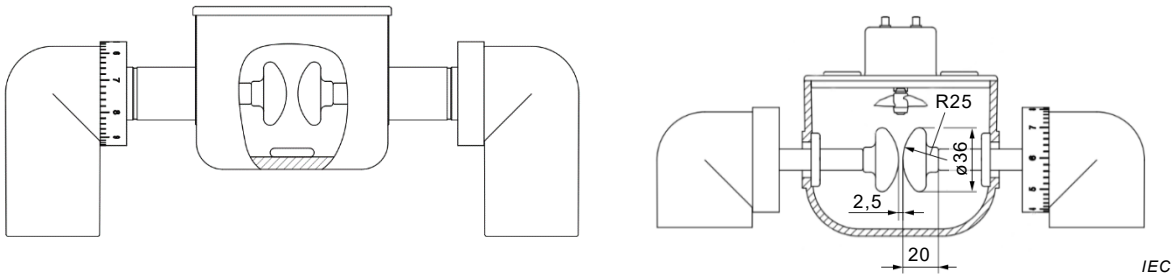
Dimensions en millimètres



NOTE L'agitateur peut être monté sur le dessus (figure de droite) ou dans le fond de la cellule (figure de gauche). La position de l'agitateur ainsi que le déphaseur Vernier sont indiqués uniquement à titre de référence.

Figure 1 – Exemples de cellules d'essai avec des électrodes sphériques de diamètre compris entre 12,5 mm et 13,0 mm

Dimensions en millimètres



NOTE L'agitateur peut être monté sur le dessus (figure de droite) ou dans le fond de la cellule (figure de gauche). La position de l'agitateur ainsi que le déphaseur Vernier sont indiqués uniquement à titre de référence.

Figure 2 – Exemples de cellules d'essai avec des électrodes hémisphériques d'un rayon de 25 mm et d'un diamètre de 36 mm

5.3 Électrodes

Les électrodes doivent être soit en laiton, soit en bronze, soit en acier inoxydable austénitique. Elles doivent être polies et de forme sphérique (diamètre entre 12,5 mm et 13,0 mm), comme représenté à la Figure 1, ou hémisphérique (rayon 25 mm ± 0,25 mm), comme représenté à la Figure 2. L'axe du système d'électrodes doit être horizontal et doit être placé à 40 mm au moins en dessous de la surface du liquide en essai. Aucune partie de la cellule ou de l'agitateur ne doit influencer le champ électrique situé entre les électrodes. L'écartement entre les électrodes doit être de 2,50 mm ± 0,05 mm.

Les électrodes doivent être examinées fréquemment pour vérifier qu'elles ne présentent pas de piqûres ou toute autre dégradation. Elles doivent être maintenues en bon état ou remplacées dès que de telles dégradations sont constatées.

NOTE Les électrodes peuvent être remplacées ou remises à neuf généralement après 5 000 claquages individuels. La surface des électrodes peut être polie avec une taille de grains abrasifs maximale de 10 µm. La limite de l'écart arithmétique moyen du profil de rugosité des électrodes peut être Ra ≤ 0,5 µm selon l'ISO 4287[4].

5.4 Agitateur

Il est recommandé d'utiliser un agitateur automatique pendant toute la durée de l'essai.

L'agitateur doit être monté dans la cellule d'essai de sorte à optimiser l'homogénéisation du liquide. Il doit être conçu pour être nettoyé facilement. L'agitation doit être réalisée à l'aide d'un agitateur à deux pales ou un agitateur approprié, de diamètre efficace de 25 mm à 35 mm et de hauteur d'axe de 5 mm à 10 mm, tournant à la vitesse de 200 tr/min à 300 tr/min. L'agitateur ne doit pas créer de bulles d'air. Il doit être complètement immergé dans le liquide en essai. Les Figures 1 et 2 présentent des exemples d'agitateurs montés dans les cellules d'essai.

NOTE 1 Pour éviter de créer des bulles entre les électrodes, l'agitateur peut tourner de préférence dans un sens permettant d'éliminer les bulles [5].

NOTE 2 L'agitateur peut être monté sur le dessus ou dans le fond de la cellule. La position de l'agitateur (voir les Figures 1 et 2) est indiquée uniquement à titre de référence.

NOTE 3 Un agitateur magnétique peut être aussi utilisé.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

6 Préparation des électrodes

Les électrodes neuves doivent être nettoyées et doivent satisfaire aux exigences de 5.3. La préparation des électrodes doit suivre la procédure suivante:

– nettoyer toutes les surfaces avec un solvant volatil convenable et le laisser s'évaporer complètement;
– polir avec de la poudre abrasive fine (par exemple de la pâte à polir de joaillier rouge) ou avec de la toile ou du papier abrasif (par exemple, toile à polir ultrafine) (voir 5.3);
– nettoyer, après polissage, à l'éther de pétrole (qualité pure pour analyse, plage d'ébullition comprise entre 40 °C et 80 °C) puis à l'acétone (qualité pure pour analyse);
– monter les électrodes dans la cellule, remplir celle-ci de l'isolant liquide neuf et propre, du même type que celui à soumettre à l'essai;
– avant le premier essai de claquage, augmenter la tension jusqu'au claquage, 24 fois.

Cette procédure doit être répétée après chaque nettoyage ou changement d'électrodes.

7 Préparation du dispositif d'essai

Il convient qu'une cellule d'essai séparée soit réservée pour les différents types d'isolants liquides.

Les cellules d'essai doivent être stockées dans un endroit sec avec leur couvercle et remplies avec un isolant liquide déshydraté correspondant au type habituellement utilisé dans la cellule.

En cas de changement du type du liquide en essai, éliminer toute trace du liquide précédent avec un solvant approprié, rincer la cellule d'essai avec un liquide propre et sec du même type que celui à soumettre à l'essai, laisser égoutter et remplir à nouveau.

8 Échantillonnage

L'échantillonnage doit être réalisé conformément à l'IEC 60475.

NOTE La tension de claquage est très sensible à la moindre contamination de l'échantillon par de l'eau et des particules. Des précautions particulières peuvent être prises pour éviter toute contamination de l'échantillon et il est nécessaire de disposer d'un personnel formé et d'exercer une surveillance expérimentée. Sauf exigence contraire, l'échantillon est prélevé à l'endroit où le liquide est vraisemblablement le plus contaminé, généralement au point le plus bas du récipient qui le contient.

Sauf spécification contraire, l'essai est réalisé sur l'échantillon tel que livré, sans le sécher ni le dégazer.

9 Procédure d'essai

9.1 Préparation de l'échantillon

Juste avant le remplissage de la cellule d'essai, le récipient contenant l'échantillon est agité doucement en le retournant plusieurs fois afin d'homogénéiser, autant que possible, les impuretés du liquide, sans créer de bulles d'air.

Une méthode possible consiste à effectuer une rotation automatique horizontale du récipient contenant l'échantillon pendant 1 min à une vitesse recommandée de 30 tr/min.

Laisser l'échantillon s'équilibrer à la température ambiante. Toute exposition inutile de l'échantillon à l'air ambiant doit être évitée.

9.2 Remplissage de la cellule

Juste avant de commencer l'essai, vider la cellule d'essai et rincer les parois, les électrodes et les autres parties internes de la cellule avec le liquide en essai. Vider la cellule et la remplir lentement avec le liquide en essai en évitant de créer des bulles d'air.

Mesurer et enregistrer la température du liquide.

10 Application de la tension

Lors de l'essai, les températures doivent être maintenues à la température ambiante (20 °C ± 5 °C).

Ajuster l'écartement entre les électrodes à 2,5 mm ± 0,05 mm à l'aide d'un vernier ou d'un autre système et démarrer l'agitateur. Lorsqu'il est utilisé, l'agitateur doit fonctionner en continu pendant toute la durée de l'essai.

Des jauges métalliques peuvent endommager la surface des électrodes. Leur utilisation doit donc être évitée.

La première application de la tension est effectuée environ 5 min après la fin du remplissage et après avoir vérifié l'absence de bulles d'air visibles entre les électrodes. Augmenter régulièrement la tension appliquée aux électrodes, de zéro jusqu'au claquage, à la vitesse de 2,0 kV/s ± 0,2 kV/s.

La tension de claquage est la tension maximale atteinte à l'ouverture du circuit, soit automatiquement (arc maintenu) soit manuellement (décharge visible ou sonore détectée).

Enregistrer la valeur en kilovolts.

Réaliser six claquages sur le même remplissage en respectant une pause d'au moins 2 min après chaque claquage et avant une remise sous tension. Vérifier qu'il n'y a pas de bulles de gaz entre les électrodes.

Calculer la valeur moyenne des six tensions de claquage, l'écart type et le coefficient de variation associé (rapport de l'écart type à la tension de claquage moyenne).

Pour les isolants liquides dont la viscosité nominale est supérieure à 15 mm^2/s (40 °C), le temps de pause avant l'application de la tension doit être augmenté dans la plage de 15 min à 30 min. De même, le temps de pause entre deux claquages consécutifs doit aussi être augmenté en conséquence.

11 Rapport

Le rapport doit inclure:

– l'identification de l'échantillon, comportant si possible le type d'isolants liquides;
– la valeur de chaque tension de claquage individuel en kilovolts;
– la valeur moyenne des tensions de claquage;
– le type d'électrodes employées;
– la température du liquide (dans la cellule d'essai);
– le coefficient de variation (%) (facultatif);
– la fréquence de la tension d'essai (facultative);
– la position de l'agitateur (facultative).

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Dans le cas où une tension de claquage individuel est supérieure à la capacité maximale de tension de l'équipement, le résultat doit être consigné comme étant supérieur à la capacité maximale de tension (exemple: > 80 kV).

12 Dispersion des résultats et reproductibilité

12.1 Dispersion des résultats

La Figure 3 représente les valeurs du coefficient de variation et sa valeur moyenne observées pour un grand nombre de résultats d'essais obtenus par plusieurs laboratoires sur des liquides de transformateurs. Dans le graphique, la courbe en trait plein représente la distribution du coefficient de variation en fonction de la valeur moyenne des tensions de claquage. Les courbes en pointillé représentent l'intervalle de confiance de 2,5 % (0,025) à 97,5 % (0,975) des valeurs de l'écart type sur la moyenne en fonction de la moyenne.

Les coefficients de variation types de la Figure 3 ne sont indiqués qu'à titre d'information et ne représentent donc pas un critère d'acceptation des résultats obtenus.

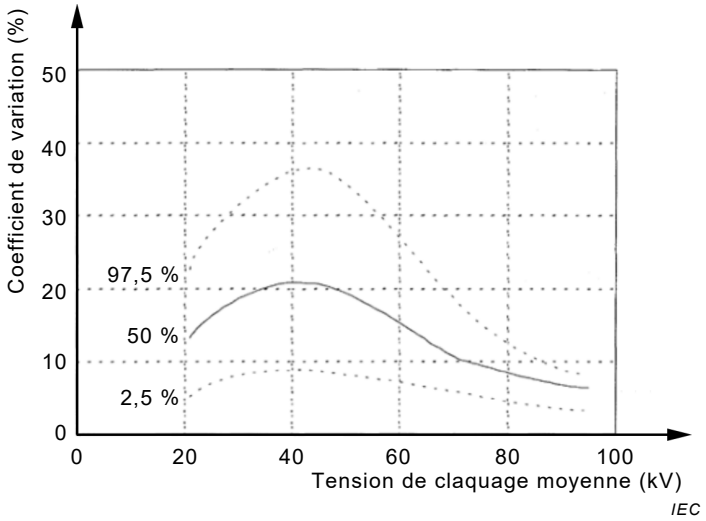


Figure 3 – Représentation graphique du coefficient de variation en fonction de la tension de claquage moyenne

12.2 Reproductibilité

L'expérience a démontré que la reproductibilité des tensions de claquage diélectrique individuelles est de l'ordre de ±30 %.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Annexe A
(informative)

Méthode d'essai améliorée

A.1 Procédure d'essai pour une méthode d'essai améliorée

L'Annexe A décrit une méthode d'essai améliorée pouvant être utilisée et qui est censée permettre de réduire la dispersion des résultats de la tension de claquage [5],[6],[7]. Les résultats obtenus par les deux méthodes appliquées au niveau international et dans les années à venir sont destinés à déterminer le choix à opérer lors de la révision du présent document.

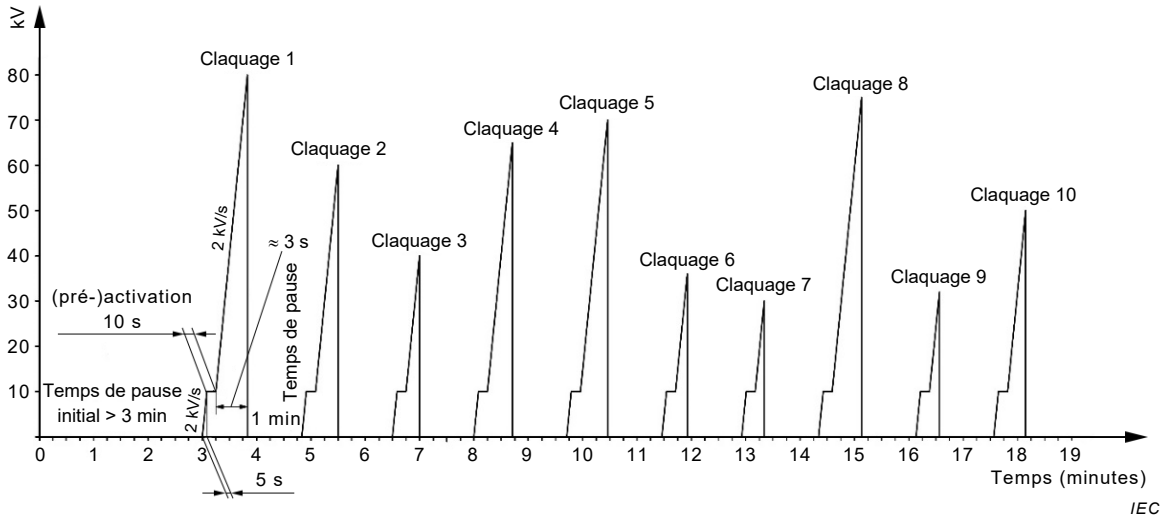
Utiliser le même instrument et préparer l'essai conformément aux dispositions spécifiées dans les Articles 4 à 9. Au lieu de la procédure décrite à l'Article 10, suivre la procédure décrite ci-après (voir Figure A.1):

NOTE Le logiciel du dispositif peut être configuré selon la procédure décrite dans l'Annexe A.

1) La première application de la tension est effectuée au moins 5 min après la fin du remplissage et après avoir vérifié l'absence de bulles d'air dans le liquide en essai.
2) Appliquer uniformément la tension aux électrodes et l'augmenter à la vitesse de 2 kV/s ± 0,2 kV/s de zéro jusqu'à atteindre 10 kV.
3) Maintenir la tension à 10 kV pendant 10 s, puis continuer avec une vitesse de montée en tension de 2 kV/s ± 0,2 kV/s jusqu'à ce qu'un claquage se produise.
4) La tension de claquage doit être enregistrée à la tension maximale atteinte.
5) Réaliser 10 claquages sur le même remplissage en respectant une pause d'au moins 1 min après chaque claquage et avant une remise sous tension d'essai. Enregistrer chacun des claquages. Calculer les résultats d'essai sous forme de moyenne et de coefficient de variation (rapport de l'écart type à la tension de claquage moyenne) des six résultats restants après rejet des deux résultats les plus élevés et des deux les plus faibles.
6) Lorsque le coefficient de variation du résultat d'essai (tension de claquage moyenne) dépasse la limite supérieure (voir Figure 3), il convient de répéter la procédure d'essai de 2) à 6) pour 10 autres claquages avec le même liquide en essai. Enregistrer également les résultats de ces claquages supplémentaires. Calculer les résultats d'essai sous forme de moyenne et de coefficient de variation des 12 résultats restants après rejet des quatre résultats les plus élevés et des quatre les plus faibles.

Pour les isolants liquides dont la viscosité nominale est supérieure à 15 mm^2/s (40 °C), le temps de pause avant l'application de la tension doit être augmenté dans la plage de 15 min à 30 min. De même, le temps de pause entre deux claquages consécutifs doit aussi être augmenté en conséquence.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020



Pour le calcul de la moyenne, les résultats des quatre valeurs aberrantes (les deux valeurs les plus élevées et les deux valeurs les plus faibles) doivent être rejetés (dans cet exemple, les claquages 1 et 8 sont les plus élevés et les claquages 7 et 9 les plus faibles).

Figure A.1 – Exemple d'une séquence de claquages pour la détermination de la tension de claquage

A.2 Rapport

Voir l'Article 11.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Annexe B
(informative)

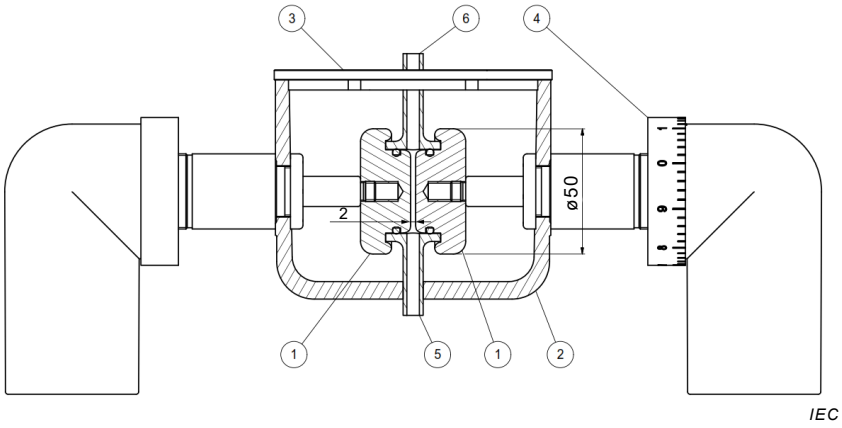
Méthodes d'essai spéciales pour échantillons de faible volume

B.1 Essai sur les échantillons de faible volume

La méthode d'essai spéciale présentée dans la présente annexe est suggérée pour les échantillons de faible volume. Un nombre limité de données a démontré que les résultats obtenus sont comparables à ceux obtenus à l'aide de la méthode décrite dans le corps du texte du présent document. Les Figures B.1 et B.2 présentent des exemples de cellules d'essai à volume réduit.

Un essai rapide sur site peut exiger d'utiliser des appareils d'essai portatifs de petite taille, capables de mesurer la tension de claquage des isolants liquides (en courant continu ou alternatif). Cet instrument peut être, par exemple, un générateur Cockcroft-Walton qui utilise une cellule équipée d'électrodes à écartement réduit et un appareillage de mesure. La cellule dans un tel instrument exige également de très petites quantités de liquide en essai.

NOTE Les résultats obtenus à l'aide de tels appareils portatifs ne peuvent pas être utilisés à des fins de diagnostic. Les résultats peuvent différer significativement à moins que la comparabilité n'ait été établie.



Légende

1 électrodes hémisphériques, électrodes à disque arrondi, diamètre de 50 mm, écartement de 2 mm

2 récipient rempli d'huile, isolation HT de la cellule d'essai

3 couvercle

4 régulateur de la distance entre électrodes

5 entrée pour échantillon

6 sortie pour échantillon

Figure B.1 – Exemple de cellule d'essai de faible volume, distance fixe entre électrodes de 2 mm avec 2 ml de volume actif sous contrainte diélectrique

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Dimensions en millimètres

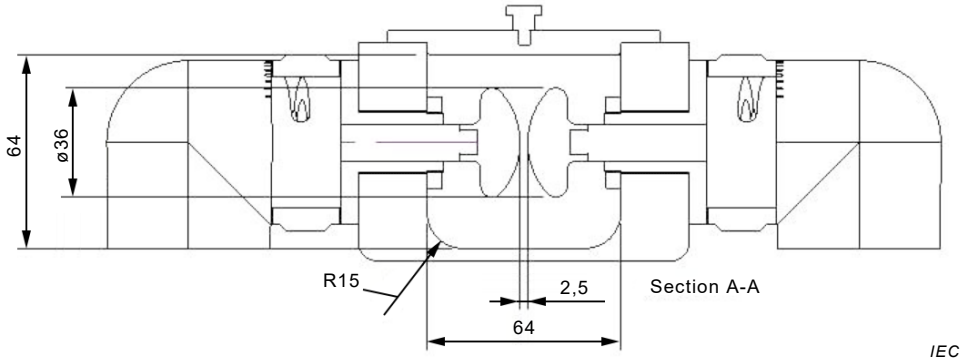


Figure B.2 – Exemple de cellule d'essai de faible volume, distance fixe entre électrodes de 2,5 mm (150 ml à 200 ml)

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Annexe C
(informative)

Matériau représentatif pour un essai de détermination des caractéristiques

L'analyse de référence peut servir de contrôle de caractéristiques pour démontrer que le système d'essai est apte à être utilisé conformément à l'IEC 60060-3.

Le matériau représentatif doit être un liquide silicone, ester ou minéral, neuf, filtré et dégazé. L'exigence minimale de qualité du liquide doit être conforme aux normes IEC correspondantes.

Si le résultat d'essai n'atteint pas la valeur exigée > 70 kV, vérifier les fonctionnalités de l'équipement ou préparer et utiliser un nouvel échantillon de matériau représentatif et procéder à un nouveau contrôle de caractéristiques.

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Bibliographie

[1] IEC 60060-3, *High-voltage test techniques – Part 3: Definitions and requirements for on-site testing* (disponible en anglais seulement)

[2] IEC 60052:2002, *Mesure de tension au moyen des éclateurs à sphères normalisés*

[3] IEC 60060-2:2010, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

[4] ISO 4287, *Spécification géométrique des produits (GPS) – État de surface: Méthode du profil – Termes, définitions et paramètres d'état de surface*

[5] Elektrische Festigkeit von Isolieröl, Dissertation von G. J. Pukel TU Graz, 2004, ISBN 978-3-85133-060-1

[6] M. Baur, M. Pompili, R. Bartnikas, “A comment on the test methods for the breakdown voltage of dielectric liquids”, IEEE Trans. Dielectric Electric Insulation, Vol. 19, p 1 482-1 484, 2012

[7] M. Baur, L. Calcara, M. Pompili, “Scatter Reduction of the 50-60 Hz Breakdown Voltage Test for Insulating Liquids”, IEEE Trans. Dielectric Electric Insulation, Vol. 22, Issue 5, page 2401-2407, October 2015

[8] M. Baur, J. Knauel, L. Calcara, M. Pompili, “Insulating Liquids Breakdown Voltage Determination: Test Method Efficiency”, ICDL 2017, paper 1239, Manchester

[9] T. J. Lewis, “Mechanism of electrical breakdown in saturated hydrocarbon liquids”, Journal of Applied Physics, Vol. 27, pp. 645-650, 1956

[10] E. O. Forster, “Critical Assessment of the Electrical Breakdown Process in Dielectric Fluids”, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 20, pp. 891-896, 1985

[11] E.O. Forster, C. Mazzetti and M. Pompili “Electrical breakdown in dielectric fluids: a review of old a new concept”, L’Energia Elettrica, Vol. LXVII, pp. 1-19, 1990

[12] IEC 60296, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion*

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

_____

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

Licensed copy: Sukanya Arayangkoon, The Electricity Generating Authority of, Version correct as of 15/12/2020

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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