

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Test procedure for thermal endurance of insulating resins and varnishes for impregnation purposes – Electric breakdown methods

Méthode d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des résines et vernis isolants d'imprégnation – Méthodes de claquage électrique



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2017 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
Fax: +41 22 919 03 00
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 - www.iec.ch/searchpub

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 20 000 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

65 000 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: csc@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 - www.iec.ch/searchpub

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 20 000 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

65 000 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: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Test procedure for thermal endurance of insulating resins and varnishes for impregnation purposes – Electric breakdown methods

Méthode d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des résines et vernis isolants d'imprégnation – Méthodes de claquage électrique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.035.01

ISBN 978-2-8322-5108-9

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

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Methods of test.....	7
4.1 General.....	7
4.2 Method 1 – Curved electrode system	8
4.2.1 Specimen	8
4.2.2 Impregnation process	8
4.2.3 Curved electrode system	9
4.2.4 Ageing ovens and ageing temperatures	9
4.2.5 Test procedure	10
4.3 Method 2 – Ball to plate method.....	12
4.3.1 Specimen	12
4.3.2 Impregnation process	12
4.3.3 Electrode system	13
4.3.4 Ageing ovens and ageing temperatures	13
4.3.5 Test procedure	14
5 Report	16
Bibliography.....	17
Figure 1 – Curved electrode fixture	9
Figure 2 – Electric strength – Ageing time – Graph	11
Figure 3 – Thermal endurance graph	12
Figure 4 – Breakdown voltage – Ageing time – Graph.....	15
Figure 5 – Thermal endurance graph	15

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TEST PROCEDURE FOR THERMAL ENDURANCE OF INSULATING
RESINS AND VARNISHES FOR IMPREGNATION PURPOSES –
ELECTRIC BREAKDOWN METHODS**

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 60370 has been prepared by IEC technical committee 15: Solid electrical insulating materials.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1971. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) this document is now describing two methods, the existing one, following ASTM D1932 and new a method following the requirements of IEC 60455-2 and IEC 60464-2;
- b) the theoretical background and way of calculation were removed, and replaced by reference to IEC 60216;
- c) the layout and numbering system was updated;
- d) for better understanding and illustration purposes examples were added.

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

FDIS	Report on voting
15/812/FDIS	15/819/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.

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.

INTRODUCTION

This document describes methods for thermal endurance testing. The methods described are in line with IEC 60216 (all parts). More information about the theory of thermal endurance, calculation methods and other possible methods can be found in IEC 60216 (all parts).

TEST PROCEDURE FOR THERMAL ENDURANCE OF INSULATING RESINS AND VARNISHES FOR IMPREGNATION PURPOSES – ELECTRIC BREAKDOWN METHODS

1 Scope

This International Standard covers methods of test for the determination of thermal endurance (temperature index) of electrical insulating resins and varnishes for impregnation purposes.

It is done by means of impregnating glass cloth and measuring electric strength or breakdown voltage before and after heat ageing.

It covers the materials described in IEC 60455-3-5 and IEC 60464-3-2 and similar materials.

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 60212, *Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials*

IEC 60216 (all parts), *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties*

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

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

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

IEC 60243-1, *Electric strength of insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 60455-3-5, *Resin based reactive compounds used for electrical insulation – Part 3: Specifications for individual materials – Sheet 5: Unsaturated polyester based impregnating resins*

IEC 60464-3-2, *Varnishes used for electrical insulation – Part 3: Specifications for individual materials – Sheet 2: Hot curing impregnating varnishes*

IEC 60641-3-1, *Pressboard and presspaper for electrical purposes – Part 3: Specifications for individual materials – Sheet 1: Requirements for pressboard, types B.0.1, B.0.3, B.2.1, B.2.3, B.3.1, B.3.3, B.4.1, B.4.3, B.5.1, B.5.3 and B.6.1*

ISO 2078, *Textile glass – Yarns – Designation*

ISO 2113, *Reinforcement fibers – Woven fabrics – Basis for a specification*

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

resin

mixture of a reactive polymer with other reactive components such as hardener accelerator, inhibitor or reactive diluent, and with or without filler and additives, whereby virtually no volatile matter is released during the subsequent curing reaction

Note 1 to entry: Resins are solvent free.

Note 2 to entry: Small quantities of by-products can be evolved during the cure of selected resins. In the case where a reactive diluent is used, small quantities of monomeric diluent can evaporate during cure mainly due to the application conditions used.

3.2

varnish

solution or emulsion of one or more resins in a solvent or carrier liquid

Note 1 to entry: Other components may be present, such as driers, catalysts, reactive diluents, dyestuffs, pigments or co-solvents.

Note 2 to entry: The solvents and by-products are released during the drying/curing process and at the same time the active components are polymerized and/or cross-linked forming a solid product.

4 Methods of test

4.1 General

In these test procedures, specimens are aged in ovens at elevated temperatures for specified periods. The specimens are then removed from the oven, cooled and tested electrically. At each temperature the thermal life is determined as the ageing time necessary for the electric property to decrease to a preselected value. This value may be selected on the basis of some functional characteristic of the material for the intended application. The thermal endurance is then determined as a curve showing the relationship between ageing temperature and thermal life.

Two alternative methods are given:

- Method 1: a curved electrode system designed to elongate the outer surface of the varnish specimen of approximately 2 %. This simulates flexing to which the varnish may be subjected in service.

The property measured is electric strength, the end point criterion is 12 kV/mm.

- Method 2: a ball to plate electrode arrangement is used to avoid mechanical stress. In many cases, the specimens are no longer plan after ageing and a curved electrode system or a plate to plate arrangement is causing additional undefined mechanical stress.

The property measured is breakdown voltage, the end point criterion is 3 kV.

4.2 Method 1 – Curved electrode system

4.2.1 Specimen

The specimens shall consist of panels of continuous filament, woven glass cloth impregnated with the material under test by dipping.

The glass cloth panels shall be cut from continuous filament, woven glass 0,1 mm to 0,18 mm thick with a weight per unit area of 90 g/m² to 140 g/m² and with 20 to 26 ends and 16 to 24 picks per centimetre. (Where glass cloth having the specified picks and ends is not available in the country making the test, the nearest standard cloth of that country shall be used.)

The dimensions of the curved electrode were designed to give an approximate 2 % elongation to the outer surface of a 0,1 mm thick glass cloth impregnated to 0,175 mm to 0,185 mm total thickness. It should be noted, therefore, that greater thicknesses will increase the elongation which, in turn, can significantly affect the ageing results.

The glass cloth shall be heat cleaned to remove binders.

NOTE A suggested heat cleaning procedure consists of heating the cloth 24 h at 250 °C and 24 h at 400 °C. Caution: heating above 450 °C can damage the cloth.

Each panel of glass cloth shall be 15 cm x 30 cm with the 30 cm dimension parallel to the warp threads of the cloth. Each panel shall be mounted and fastened in a suitable specimen-holding frame.

A set of twelve or more panels is required for each ageing temperature. A suitable fixture shall be used for holding the specimen frames in the oven in a vertical position with a minimum spacing of 2,5 cm.

4.2.2 Impregnation process

4.2.2.1 General

Test specimens shall be prepared by dipping the mounted glass cloth panels in the resin or varnish. The specimen shall be prepared at room atmosphere or preferably at standard atmosphere B according to IEC 60212 (23 °C ± 2 K and 50 % ± 10 % relative humidity).

4.2.2.2 Varnishes

The consistency of a varnish shall be adjusted by trial, using the recommended thinner so that two or more impregnations will give an overall increase in thickness of 0,08 mm ± 0,005 mm over the cloth thickness. The panel shall be immersed in the varnish in the direction of the 30 cm length until bubbling stops. It shall be mechanically withdrawn at a uniform rate of 10 cm/min, and allowed to drain for 1 h.

Specimens shall be reversed endwise between subsequent dips to provide a more uniform impregnation. After each dip, the specimens shall be cured in the same vertical position as the last dip and at the temperature and time specified by the manufacturer.

4.2.2.3 Resins

The consistency of a resin shall be adjusted by trial using reactive diluent so that the impregnation will give an overall thickness of 0,180 mm ± 0,005 mm. One impregnation process may be sufficient. The panel shall be immersed in the resin in the direction of the 30 cm length until bubbling stops. It shall be mechanically withdrawn at a uniform rate of 10 cm/min, and allowed to drain for 1 h. If the unadjusted resin leads to specimens below 0,180 mm thickness, a second or more impregnations may be necessary.

Specimens shall be reversed endwise between subsequent dips to provide a more uniform impregnation. After each dip, the specimens shall be cured in the same vertical position as the last dip and at the temperature and time specified by the resin manufacturer.

4.2.3 Curved electrode system

The curved electrode system shall be in accordance with the dimensions shown in Figure 1. The electrodes shall be of polished brass. The upper (movable) electrode shall have a total mass of 1,8 kg. Provisions shall be made to allow sufficient movement of the upper electrode or lower electrode so that intimate contact between the specimen and both electrodes is assured. This may be done by placing a soft rubber pad under the lower electrode.

The fixture shall be in accordance with the dimensions shown in Figure 1.

Dimensions in millimetres

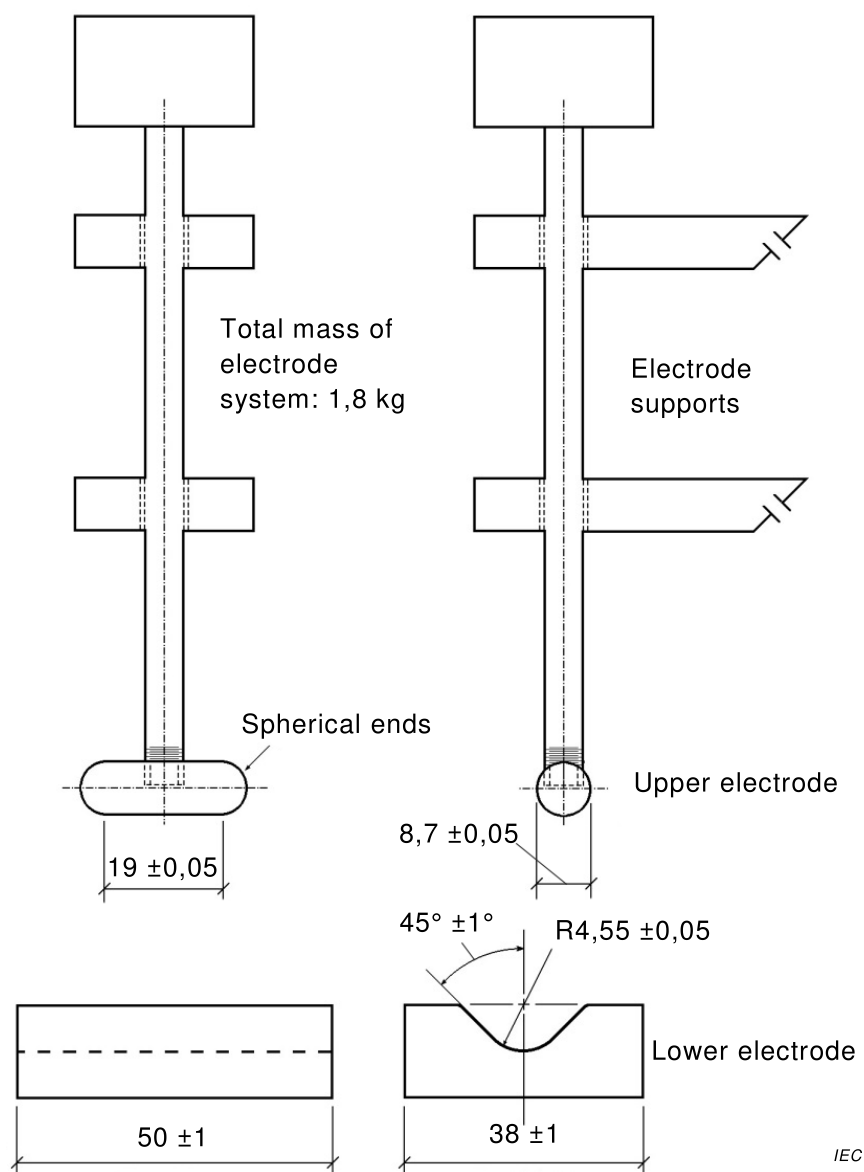


Figure 1 – Curved electrode fixture

4.2.4 Ageing ovens and ageing temperatures

Ovens according to IEC 60216-4-1, IEC 60216-4-2 and IEC 60216-4-3 shall be used.

At least three ageing temperatures shall be used, preferably more. The ageing temperatures shall differ by 10 K to 20 K. The lowest ageing temperature shall give a thermal life of at least 5 000 h. An ageing temperature giving a thermal life of less than 100 h shall not be used.

4.2.5 Test procedure

4.2.5.1 Specimen thickness

The thickness shall be measured with a screw-type micrometer or a device with similar accuracy prior to heat ageing. At least five measurements evenly distributed across the specimen shall be done and the mean shall be used.

4.2.5.2 Electric strength testing

The electric strength test set shall be in accordance with IEC 60243-1, but using the curved electrode system.

The rate of voltage rise shall be 500 V/s. The electric strength testing shall be done 40 mm apart from the edge of the specimen and 45 mm apart from a previous measurement. The specimen shall be inserted in the curved electrode fixture (see Figure 1) so that the warp threads are bent; the electrode is lowered slowly taking care to avoid injury to the specimen. Six breakdown voltage measurements have to be done. The mean shall be used. For electrical strength, divide the mean breakdown voltage by the mean thickness.

4.2.5.3 Ageing and sequence of testing

One specimen shall be conditioned for at least 4 h at standard atmosphere B according to IEC 60212 (23 °C ± 2 K and 50 % ± 10 % relative humidity) and then tested for electric strength.

Five specimens shall be tagged with aluminium foil or otherwise permanently identified and placed in the specimen holding frames. The fixture containing the specimen frames shall then be placed in the ageing oven and positioned so that it is at least 10 cm from the walls at any point and the specimens are held parallel to the direction of the air flow. One specimen shall be removed at the end of each of three ageing times equal to 25 %, 50 % and 100 % of the estimated thermal life at the selected ageing temperature. After removal, the specimens shall be conditioned for at least 4 h at standard atmosphere B according to IEC 60212 (23 °C ± 2 K and 50 % ± 10 % relative humidity) and then tested for electric strength.

At the time of 50 % of estimated thermal life, five additional specimens shall be tagged and placed in the oven. Similarly, at the time of 75 % of thermal life, the remaining specimens shall be placed in the oven. Plot a graph of the electric strength of each specimen as the ordinate, corresponding to the ageing time as the abscissa. If the thermal life has been underestimated, one specimen of the first group remaining in the oven shall be removed at 150 % of the estimated thermal life and tested. With information now available on aged specimens, each of the remaining specimens shall be removed at chosen intervals so as to establish a curve of electric strength versus exposure time.

This may require filling in between established points or extending beyond if necessary. This procedure assures that sufficient specimens are available to complete the ageing process. The ageing shall be continued until an average electric strength of < 8 kV/mm (based on original average thickness) is reached or heat ageing has progressed to 10 000 h.

Repeat the same procedure with all temperatures.

4.2.5.4 Calculations

The end point criterion is 12 kV/mm. The selection of this end point is arbitrary and based upon experience showing that this value correlates with actual service life. However when

agreed upon, other end points, such as a percentage of the initial average unaged electric strength, may also be used.

Plot all mean data in an electric strength – ageing time – graph and draw a regression curve for each temperature set as shown in Figure 2. This may be done manually or numerically. Determine for each curve the end of life time (intersection with the end point criterion).

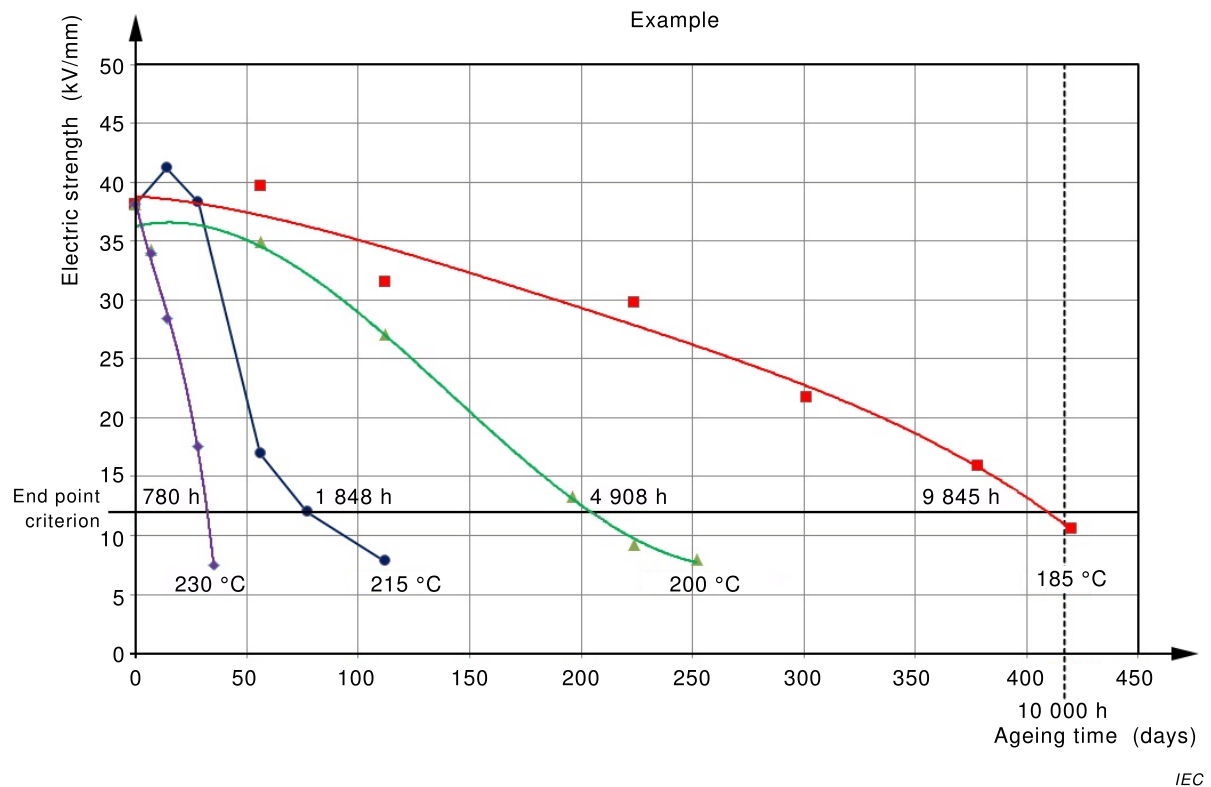


Figure 2 – Electric strength – Ageing time – Graph

Plot the end of life time and ageing temperatures in a graph using a logarithmic time scale as ordinate and the reciprocal of absolute temperature as the abscissa (thermal endurance graph, see Figure 3). Following the requirements of IEC 60216 (all parts), the data points shall give a straight line in this diagram. The calculation of the temperature index shall be done in accordance with IEC 60216 (all parts).

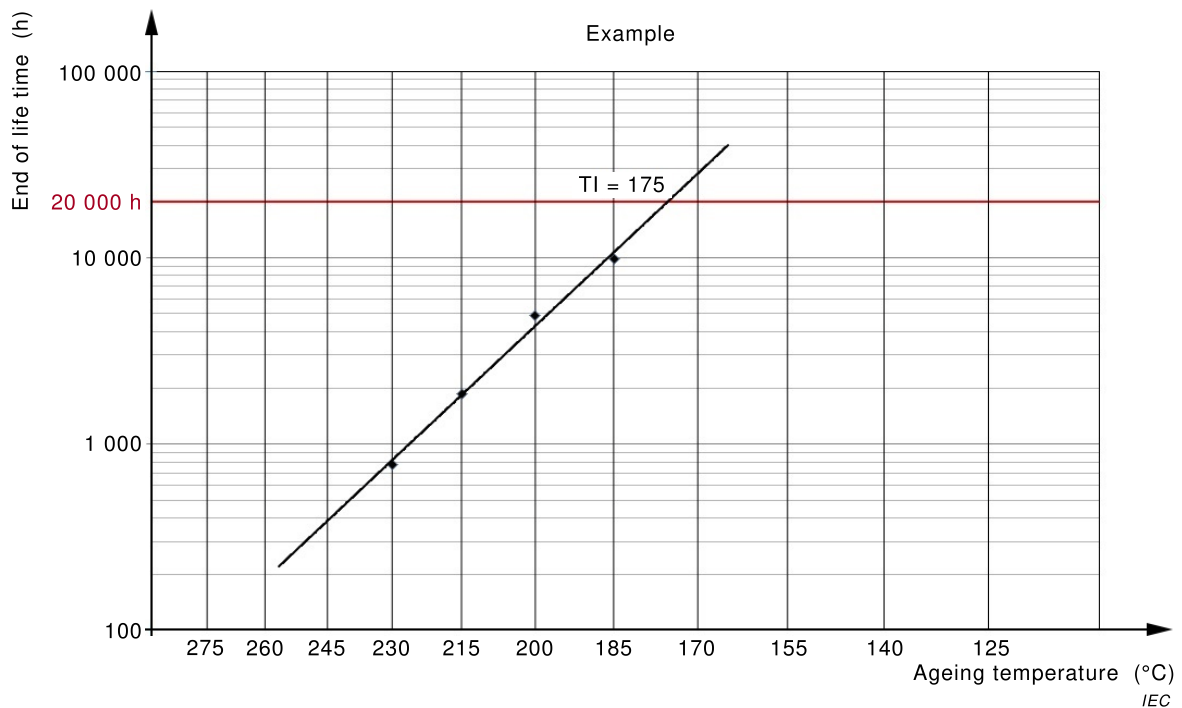


Figure 3 – Thermal endurance graph

4.3 Method 2 – Ball to plate method

4.3.1 Specimen

Unless otherwise specified, textile glass fabric of a plain weave with (21 ± 3) yarns each for warp and weft and with a mass of 40 g/m^2 to 60 g/m^2 in accordance with ISO 2113 shall be used. The yarn employed for this glass fabric shall be identical for warp and weft and shall be of type EC5, EC6 or EC7 in accordance with ISO 2078.

EXAMPLE 1 Yarn of the type “EC5 5,5 Z 40 x 2 S 150” is a folded (plied) yarn having identical components, which are twisted 150 times per metre and consist of single continuous-filament yarn according to ISO 2078 of the type EC5 5,5 Z 40. This type is made of continuous filaments of $5 \mu\text{m}$ thickness, which are twisted 40 times per meter. The linear density of the single yarn is 5,5 tex. “E” stands for “good electrical properties” and “C” stands for “continuous filament”. The letters “S” and “Z” indicate opposite directions of twist. “Tex” is a measure of linear density (mg/m) of the tex system single continuous filament yarn (see ISO 1144).

EXAMPLE 2 Yarn of the type “EC5 11 is a single continuous-filament yarn according to ISO 2078. This type is made of continuous filament of $5 \mu\text{m}$ thickness. The linear density of the single yarn is 11 tex.

The glass fabric shall be de-sized by means of thermal treatment to less than 0,1 % of the original amount. The glass fabric shall be made of glass, which is practically free of alkalis with an alkali content less than 0,5 % ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 0,5 \%$). Pieces of about 180 mm x 280 mm shall be cut from the glass fabric.

For easy handling, strips of pressboard of for instance type B.2.2 according to IEC 60641-3-1 shall be stapled to the smaller edges of each piece of glass fabric. Strips of about 250 mm x 15 mm x 0,7 mm have been found helpful. The glass fabric shall be impregnated and/or coated.

4.3.2 Impregnation process

4.3.2.1 General

The impregnation and/or coating of the glass fabric shall be in accordance with the manufacturer’s recommendations or agreed between the participating parties. This includes the impregnation and/or coating process, with respect to temperature and time, the draining

period and the curing conditions with respect to temperature and time or temperature-time programme and annealing and cooling.

4.3.2.2 Varnishes

Unless otherwise specified, the glass fabric shall be immersed into the varnish in a vertical position and at a speed sufficiently low to prevent voids of air adhering to the surface of the glass fabric. The glass fabric shall be kept in the varnish for at least 5 min and shall then be removed from the varnish at a uniform speed of not more than 2 mm/s.

The glass fabric shall then be drained, and dried and/or cured and otherwise treated in accordance with the agreed schedule in the vertical position. For drying and/or curing the oven shall be specially designed for drying painted or varnished parts, which may have large surfaces and substantial amounts of solvent evaporation. The coating or impregnation process shall be repeated by dipping, draining and drying and/or curing the glass fabric in the reverse direction.

The final thickness of the impregnated glass fabric shall be of not more than 0,180 mm. If the final thickness is greater than 0,180 mm the consistency of the varnish shall be adjusted by trial, using the recommended thinner.

After the impregnation process, two final specimens ((100 ± 1) mm x (100 ± 1) mm) shall be cut from each piece. For mounting in frames and easier handling, four holes of about 6 mm in diameter may be punched in the corners (paper punch).

4.3.2.3 Resins

Unless otherwise specified, the glass fabric shall be immersed into the resin in a vertical position and at a speed sufficiently low to prevent voids of air adhering to the surface of the glass fabric. The glass fabric shall be kept in the resin for at least 5 min and shall then be removed from the varnish at a uniform speed of not more than 2 mm/s.

The glass fabric shall then be drained, and cured and otherwise treated in accordance with the agreed schedule in the vertical position. For curing the oven shall be specially designed for drying painted or varnished parts, which may have large surfaces and substantial amounts of solvent evaporation.

The final thickness of the impregnated glass fabric shall be of not more than 0,180 mm. If the final thickness is greater than 0,180 mm the draining and/or curing process shall be adjusted by trial.

After the impregnation process, two final specimens ((100 ± 1) mm x (100 ± 1) mm) shall be cut from each piece. For mounting in frames and easier handling, four holes of about 6 mm in diameter may be punched in the corners (paper punch).

4.3.3 Electrode system

The electrode arrangement shall be the ball to plate type. The high voltage electrode shall consist of a polished steel ball with a radius of (10 ± 0,000 5) mm. Polished steel balls with a surface roughness of less than 0,001 mm as used in ball bearings (class III) are easily available and have been found adequate for the purpose. The earth electrode shall be a plate with a diameter of (75 ± 1) mm and with rounded edge of a radius of (3 ± 0,1) mm.

4.3.4 Ageing ovens and ageing temperatures

Ovens according to IEC 60216-4-1, IEC 60216-4-2 and IEC 60216-4-3 shall be used.

At least three ageing temperatures shall be used, preferably more. The ageing temperatures shall differ by 10 K to 20 K. The lowest ageing temperature shall give a thermal life of at least 5 000 h. An ageing temperature giving a thermal life of less than 100 h shall not be used.

4.3.5 Test procedure

4.3.5.1 Specimen thickness

The thickness shall be measured with a screw-type micrometer or a device with similar accuracy prior to heat ageing. At least five measurements evenly distributed across the specimen shall be done and the mean shall be used.

4.3.5.2 Electric strength testing

The electric strength test set shall be in accordance with IEC 60243-1. The rate of voltage rise shall be 500 V/s. The electric strength testing shall be done 20 mm apart from the edge of the specimen and 30 mm apart from a previous measurement. The electrode shall be placed on the specimen without causing unnecessary mechanical stress. Five breakdown voltage measurements have to be done. The mean shall be used.

4.3.5.3 Ageing and test procedure

One specimen ((100 ± 1) mm x (100 ± 1) mm) shall be conditioned for at least 4 h at standard atmosphere B according to IEC 60212 (23 °C ± 2 K and 50 % ± 10 % relative humidity) and then tested for breakdown voltage.

Sufficient specimens shall be tagged with aluminium foil or otherwise permanently identified and mounted in frames. The frames with the specimen shall then be placed in the ageing oven. Specimens shall be removed at pre-planned times ensuring to have at least two measurements close before and one after reaching the end point criteria. If the results have a great scatter, more measurements may be necessary. After removal, the specimen shall be conditioned for at least 4 h at standard atmosphere B according to IEC 60212 (23 °C ± 2 K and 50 % ± 10 % relative humidity) and then tested for breakdown voltage. For controlling the ageing process, planning additional measurements and calculation of the end of life time, a graph of the breakdown voltage of each specimen as the ordinate, corresponding to the log ageing time as the abscissa has been found helpful.

Repeat the same procedure with all temperatures.

4.3.5.4 Calculations

The end point criterion is 3 kV. The selection of this end point is arbitrary and based upon experience showing that this value correlates with actual service life. However when agreed upon, other end points, such as a percentage of the initial average unaged electric strength, may also be used.

Plot all mean data in a breakdown voltage – log ageing time – graph and draw a regression curve for each temperature set (see example in Figure 4). This may be done manually or numerically. Determine for each curve the end of life time (intersection with the end point criterion).

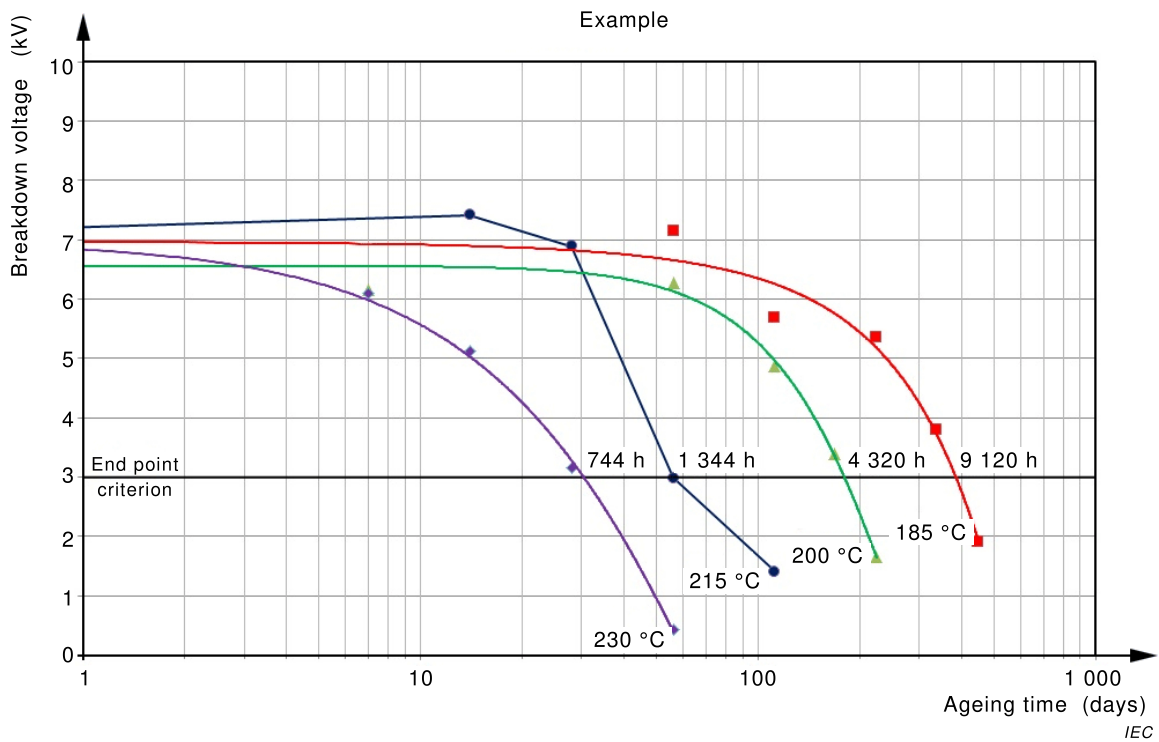


Figure 4 – Breakdown voltage – Ageing time – Graph

Plot the end of life time and ageing temperatures in a graph using a logarithmic time scale as ordinate and the reciprocal of absolute temperature as the abscissa (thermal endurance graph, see Figure 5). Following the requirements of IEC 60216 (all parts), the data points shall give a straight line in this diagram. The calculation of the temperature index shall be done in accordance with IEC 60216 (all parts).

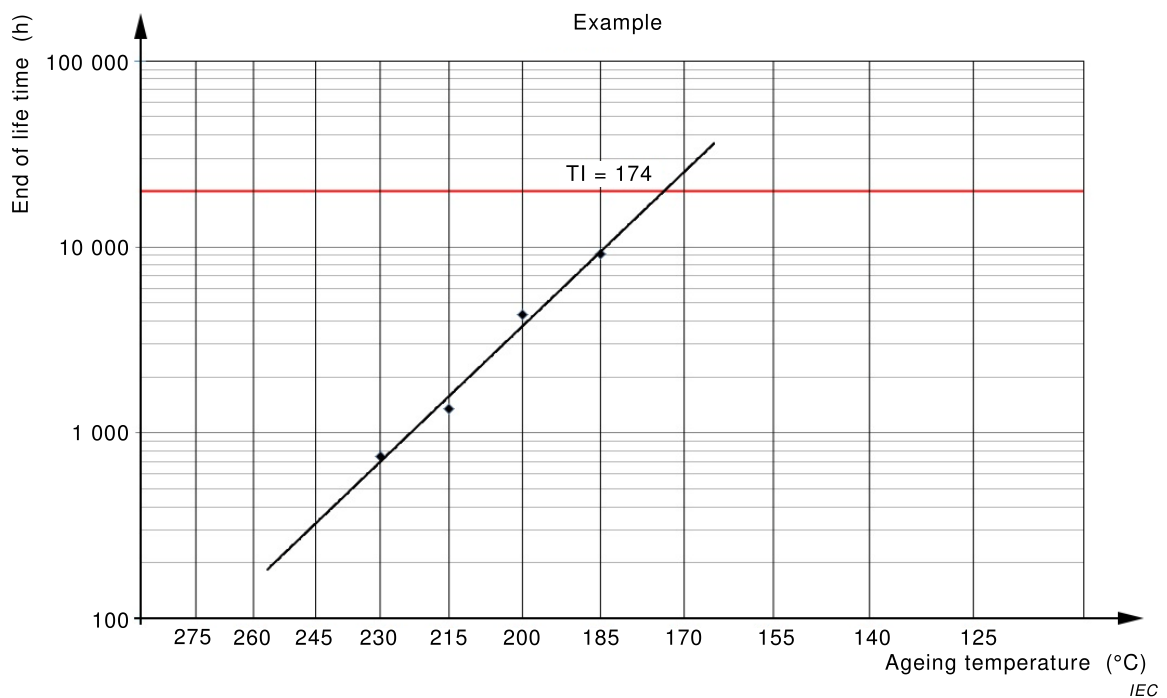


Figure 5 – Thermal endurance graph

5 Report

The report shall contain the following information:

- description of resin or varnish (type, manufacturer, physical properties, etc.);
- glass cloth used;
- specimen preparation und curing conditions;
- average thickness of the specimen;
- method used including measured property and end point criteria;
- mean initial values and all mean values for each ageing temperature and time inclusive graph;
- end of life time for each temperature;
- thermal endurance graph with temperature index (TI);
- all relevant observations during testing.

Bibliography

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

IEC 60464-2, *Varnishes used for electrical insulation – Part 2: Methods of test*

ISO 1144:1973, *Textiles – Universal system for designating linear density (Tex System)*

ASTM D1932, *Standard Test Method for Thermal Endurance of Flexible Electrical Insulating Varnishes*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	19
INTRODUCTION.....	21
1 Domaine d'application	22
2 Références normatives	22
3 Termes et définitions	23
4 Méthodes d'essai.....	23
4.1 Généralités	23
4.2 Méthode 1 – Système d'électrodes courbes	24
4.2.1 Éprouvette	24
4.2.2 Processus d'imprégnation.....	24
4.2.3 Système d'électrodes courbes	25
4.2.4 Étuves de vieillissement et températures de vieillissement	26
4.2.5 Méthode d'essai	26
4.3 Méthode 2 – Méthode à bille pour plaque.....	29
4.3.1 Éprouvette	29
4.3.2 Processus d'imprégnation.....	29
4.3.3 Système d'électrodes	30
4.3.4 Étuves de vieillissement et températures de vieillissement	31
4.3.5 Méthode d'essai	31
5 Rapport d'essai	33
Bibliographie.....	34
Figure 1 – Montage d'électrodes courbes.....	26
Figure 2 – Rigidité diélectrique – Temps de vieillissement – Graphique	28
Figure 3 – Graphique d'endurance thermique	29
Figure 4 – Tension de claquage – Temps vieillissement – Graphique.....	32
Figure 5 – Graphique d'endurance thermique	33

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODE D'ESSAI POUR L'ÉVALUATION DE L'ENDURANCE THERMIQUE
DES RÉSINES ET VERNIS ISOLANTS D'IMPRÉGNATION –
MÉTHODES DE CLAQUAGE ÉLECTRIQUE**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique 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. A 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 60370 a été établie par le comité d'études 15 de l'IEC: Matériaux isolants électriques solides.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1971. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) le présent document décrit deux méthodes, la méthode existante conforme aux exigences de l'ASTM D1932 et une nouvelle méthode conforme aux exigences de l'IEC 60455-2 et de l'IEC 60464-2;
- b) suppression et remplacement du contexte théorique et du mode de calcul par la référence à l'IEC 60216;

- c) actualisation de la présentation et du système de numérotation;
- d) ajout d'exemples pour une meilleure compréhension et représentation.

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

FDIS	Rapport de vote
15/812/FDIS	15/819/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.

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. A 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

Le présent document décrit des méthodes d'essai d'endurance thermique. Ces méthodes décrites sont conformes à l'IEC 60216 (toutes les parties). L'IEC 60216 (toutes les parties) donne de plus amples informations sur la théorie de l'endurance thermique, les méthodes de calcul et d'autres méthodes éventuelles.

MÉTHODE D'ESSAI POUR L'ÉVALUATION DE L'ENDURANCE THERMIQUE DES RÉSINES ET VERNIS ISOLANTS D'IMPRÉGNATION – MÉTHODES DE CLAQUAGE ÉLECTRIQUE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale traite des méthodes d'essai qui permettent de déterminer l'endurance thermique (indice de température) des résines et vernis isolants électriques d'imprégnation.

Cette endurance est déterminée par imprégnation de tissu de verre et en mesurant la rigidité diélectrique ou la tension de claquage avant et après le vieillissement thermique.

Elle couvre les matériaux décrits dans l'IEC 60455-3-5 et l'IEC 60464-3-2, ainsi que les matériaux analogues.

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 60212, *Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides*

IEC 60216 (toutes les parties), *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique*

IEC 60216-4-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single-chamber ovens* (disponible en anglais seulement)

IEC 60216-4-2, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 4-2: Étuves de vieillissement – Étuves de précision pour des utilisations pouvant atteindre 300 °C*

IEC 60216-4-3, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 4-3: Étuves de vieillissement – Étuves à chambres multiples*

IEC 60243-1, *Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai – Partie 1: Essais aux fréquences industrielles*

IEC 60455-3-5, *Composés réactifs à base de résines utilisés comme isolants électriques – Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers – Feuille 5: Résines d'imprégnation à base de polyester insaturé*

IEC 60464-3-2, *Vernis utilisés pour l'isolation électrique – Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers – Feuille 2: Vernis d'imprégnation durcissant à chaud*

IEC 60641-3-1, *Carton comprimé et papier comprimé à usages électriques – Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers – Feuille 1: Exigences pour les cartons comprimés, types B.0.1, B.0.3, B.2.1, B.2.3, B.3.1, B.3.3, B.4.1, B.4.3, B.5.1, B.5.3 et B.6.1*

ISO 2078, *Verre textile – Fils – Désignation*

ISO 2113, *Renforts – Tissus – Base de spécification*

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

3.1

résine

mélange d'un polymère réactif avec d'autres composants réactifs tels qu'accélérateur de durcisseur, inhibiteur ou diluant réactif, et avec ou sans matériaux de remplissage et additifs, de sorte que pratiquement aucune matière volatile n'est libérée pendant la réaction de durcissement ultérieure

Note 1 à l'article: Les résines ne contiennent pas de solvants.

Note 2 à l'article: De petites quantités de sous-produits peuvent s'accumuler lors du durcissement de certaines résines. Lorsqu'un diluant réactif est utilisé, de petites quantités de diluant monomère peuvent s'évaporer pendant le durcissement en raison surtout des conditions d'application utilisées.

3.2

vernis

solution ou émulsion d'une ou de plusieurs résines dans un solvant ou dans un liquide porteur

Note 1 à l'article: D'autres composants peuvent être présents, comme des desséchants, des catalyseurs, des diluants réactifs, des colorants, des pigments ou des co-solvants.

Note 2 à l'article: Les solvants et les sous-produits sont éliminés pendant le processus de séchage/durcissement et en même temps les composants actifs sont polymérisés et/ou réticulés pour former un produit solide.

4 Méthodes d'essai

4.1 Généralités

Dans ces méthodes d'essai, les éprouvettes sont vieilles dans des étuves à des températures élevées pendant des durées spécifiées. Les éprouvettes sont ensuite retirées de l'étuve, refroidies et soumises aux essais électriques. À chaque température, la durée de vie thermique est déterminée comme le temps de vieillissement nécessaire pour que la propriété électrique diminue pour atteindre une valeur fixée à l'avance. Cette valeur peut être choisie sur la base de certaines caractéristiques fonctionnelles du matériau destiné à l'application prévue. L'endurance thermique est ensuite représentée par une courbe indiquant la température de vieillissement en fonction de la durée de vie thermique.

Deux méthodes alternatives sont spécifiées:

- Méthode 1: un système d'électrodes courbes conçu pour allonger d'environ 2 % la surface extérieure de l'éprouvette de vernis. Cette méthode reproduit la flexion à laquelle le vernis peut être soumis en service.

La propriété mesurée est la rigidité diélectrique, le critère de point limite est de 12 kV/mm.

- Méthode 2: un agencement d'électrodes à bille pour plaque est utilisé pour éviter les contraintes mécaniques. Dans de nombreux cas, les éprouvettes ne sont plus plates après

le vieillissement et un système d'électrodes courbes ou un agencement de plaque à plaque entraîne des contraintes mécaniques indéterminées supplémentaires.

La propriété mesurée est la tension de claquage, le critère de point limite est de 3 kV.

4.2 Méthode 1 – Système d'électrodes courbes

4.2.1 Éprouvette

Les éprouvettes doivent être constituées de bandes de tissu de verre à filaments continus imprégnées du matériau en essai par immersion.

Des bandes doivent être découpées dans du tissu de verre à filaments continus ayant une épaisseur comprise entre 0,1 mm et 0,18 mm et une masse surfacique comprise entre 90 g/m² et 140 g/m², ayant de 20 à 26 fils de chaîne et de 16 à 24 fils de trame au centimètre. (Lorsqu'un pays effectuant l'essai ne dispose pas du tissu de verre ayant les fils de trame et les fils de chaîne spécifiés, le tissu appartenant à la norme la plus proche du pays doit être utilisé.)

Les dimensions de l'électrode courbe ont été conçues pour fournir un allongement approximatif de 2 % de la surface extérieure d'une bande de tissu de verre de 0,1 mm d'épaisseur, imprégnée jusqu'à une épaisseur totale de 0,175 mm à 0,185 mm. Il convient donc de noter que des épaisseurs supérieures augmentent l'allongement qui, à son tour, peut avoir une incidence notable sur les résultats de l'essai de vieillissement.

Le tissu de verre doit être nettoyé à chaud pour éliminer les liants.

NOTE Une méthode de nettoyage à la chaleur recommandée consiste à chauffer le tissu pendant 24 h à 250 °C et pendant 24 h à 400 °C. Noter qu'un chauffage à une température supérieure à 450 °C risque d'endommager le tissu.

Chaque bande de tissu de verre doit mesurer 15 cm x 30 cm, le bord de 30 cm étant parallèle aux fils de chaîne du tissu. Chaque bande doit être fixée et maintenue sur un cadre approprié.

Un jeu de douze bandes ou plus est exigé pour chaque température de vieillissement. Un montage approprié doit être utilisé pour maintenir verticalement les cadres des éprouvettes dans l'étuve en les espaçant de 2,5 cm au minimum.

4.2.2 Processus d'imprégnation

4.2.2.1 Généralités

Les éprouvettes d'essai doivent être préparées en immergeant dans la résine ou le vernis les bandes de tissu de verre fixées à leur support. L'éprouvette doit être préparée à l'atmosphère ambiante ou de préférence à l'atmosphère normale B selon l'IEC 60212 (23 °C ± 2 K et 50 % ± 10 % d'humidité relative).

4.2.2.2 Vernis

La consistance du vernis doit être adaptée par des essais successifs, en utilisant le diluant recommandé afin que deux imprégnations ou plus engendrent un accroissement global de 0,08 mm ± 0,005 mm de l'épaisseur du tissu. La bande doit être immergée dans le vernis dans le sens de la longueur de 30 cm jusqu'à ce que les bulles cessent de se produire. Elle doit être retirée par des moyens mécaniques à un rythme uniforme de 10 cm/min, et mise à sécher pendant 1 h.

Les éprouvettes doivent être retournées entre les immersions consécutives pour assurer une imprégnation plus uniforme. Après chaque immersion, les éprouvettes doivent être durcies dans la position verticale qu'elles avaient lors de la dernière immersion et à la température et pendant la durée spécifiées par le fabricant.

4.2.2.3 Résines

La consistance d'une résine doit être adaptée par des essais successifs, en utilisant un diluant réactif afin que l'imprégnation engendre une épaisseur totale de $0,180 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$. Un seul processus d'imprégnation peut suffire. La bande doit être immergée dans la résine dans le sens de la longueur de 30 cm jusqu'à ce que les bulles cessent de se produire. Elle doit être retirée par des moyens mécaniques à un rythme uniforme de 10 cm/min, et mise à sécher pendant 1 h. Si la résine non adaptée donne lieu à des éprouvettes d'épaisseur inférieure à 0,180 mm, une ou plusieurs autres imprégnations peuvent être nécessaires.

Les éprouvettes doivent être retournées entre les immersions consécutives pour assurer une imprégnation plus uniforme. Après chaque immersion, les éprouvettes doivent être durcies dans la position verticale qu'elles avaient lors de la dernière immersion et à la température et pendant la durée spécifiées par le fabricant.

4.2.3 Système d'électrodes courbes

Le système d'électrodes courbes doit être conforme aux dimensions indiquées à la Figure 1. Les électrodes doivent être en laiton poli. L'électrode supérieure (mobile) doit avoir une masse totale de 1,8 kg. Des dispositions doivent être prises pour permettre un mouvement suffisant de l'électrode supérieure ou de l'électrode inférieure de façon à assurer un contact étroit entre l'éprouvette et les deux électrodes. Cela peut être obtenu en plaçant un coussinet de caoutchouc doux sous l'électrode inférieure.

Le montage doit être conforme aux dimensions indiquées à la Figure 1.

Dimensions en millimètres

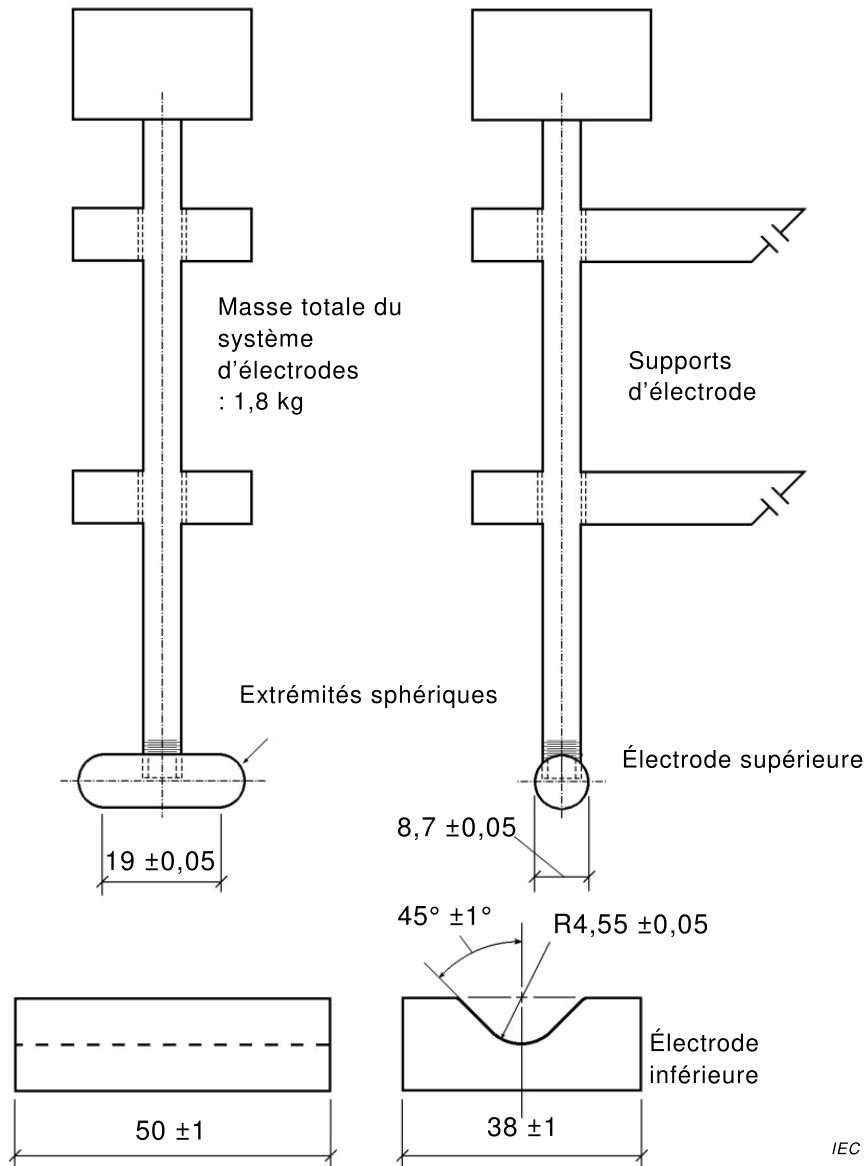


Figure 1 – Montage d'électrodes courbes

4.2.4 Étuves de vieillissement et températures de vieillissement

Les étuves conformes à l'IEC 60216-4-1, l'IEC 60216-4-2 et à l'IEC 60216-4-3 doivent être utilisées.

Au moins trois températures de vieillissement, de préférence plus de trois, doivent être utilisées. Les températures de vieillissement doivent différer de 10 K à 20 K. La température de vieillissement la plus basse doit permettre une durée de vie thermique d'au moins 5 000 h. Une température de vieillissement assurant une durée de vie thermique inférieure à 100 h ne doit pas être utilisée.

4.2.5 Méthode d'essai

4.2.5.1 Épaisseur des éprouvettes

Avant de procéder au vieillissement thermique, l'épaisseur doit être mesurée à l'aide d'un micromètre à vis ou d'un dispositif présentant une exactitude analogue. Au moins cinq

mesurages doivent être effectués en des points répartis de façon égale sur l'éprouvette et leur moyenne doit être utilisée.

4.2.5.2 Essai de rigidité diélectrique

L'appareillage pour l'essai de rigidité diélectrique doit être conforme à l'IEC 60243-1, mais en utilisant le système d'électrodes courbes.

Le taux d'accroissement de la tension doit être de 500 V/s. L'essai de rigidité diélectrique doit être effectué à 40 mm du bord de l'éprouvette et à 45 mm d'un point de mesure précédent. L'éprouvette doit être insérée dans le montage d'électrodes courbes (voir la Figure 1) de sorte que les fils de chaîne soient pliés; l'électrode est abaissée lentement en prenant soin de ne pas endommager l'éprouvette. Six mesurages de tension de claquage doivent être effectués et leur moyenne doit être utilisée. La rigidité diélectrique est obtenue en divisant la tension de claquage moyenne par l'épaisseur moyenne.

4.2.5.3 Vieillessement et séquence d'essais

Une éprouvette doit être conditionnée pendant au moins 4 h à l'atmosphère normale B selon l'IEC 60212 ($23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ et $50\% \pm 10\%$ d'humidité relative) et ensuite soumise à l'essai de rigidité diélectrique.

Cinq éprouvettes doivent être repérées au moyen d'une feuille en aluminium ou identifiées de façon permanente par un autre moyen et placées dans le cadre à éprouvettes. Le montage contenant les cadres à éprouvettes doit ensuite être placé dans l'étuve de vieillissement et positionné de sorte qu'il se trouve en tous points à au moins 10 cm des parois et que les éprouvettes soient maintenues parallèles à la direction du débit d'air. Une éprouvette doit être retirée à la fin de chacun des trois temps de vieillissement équivalant à 25 %, 50 % et 100 % de la durée de vie thermique estimée, à la température de vieillissement choisie. Après leur retrait, les éprouvettes doivent être conditionnées pendant au moins 4 h à l'atmosphère normale B selon l'IEC 60212 ($23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ et $50\% \pm 10\%$ d'humidité relative) et ensuite soumises à l'essai de rigidité diélectrique.

Au moment d'atteindre les 50 % de la durée de vie thermique estimée, cinq éprouvettes supplémentaires doivent être repérées et placées dans l'étuve. De même, au moment d'atteindre les 75 % de la durée de vie thermique, les éprouvettes restantes doivent être placées dans l'étuve. Tracer sur un papier graphique la rigidité diélectrique de chaque éprouvette en ordonnées et le temps de vieillissement en abscisses. Si la durée de vie thermique a été sous-estimée, une éprouvette du premier groupe restée dans l'étuve doit être retirée à 150 % de la durée de vie thermique estimée et soumise à l'essai. Les informations étant à présent disponibles en ce qui concerne le vieillissement des éprouvettes, chacune des éprouvettes restantes doit être retirée aux intervalles de temps choisis afin d'établir une courbe de la rigidité diélectrique en fonction du temps d'exposition.

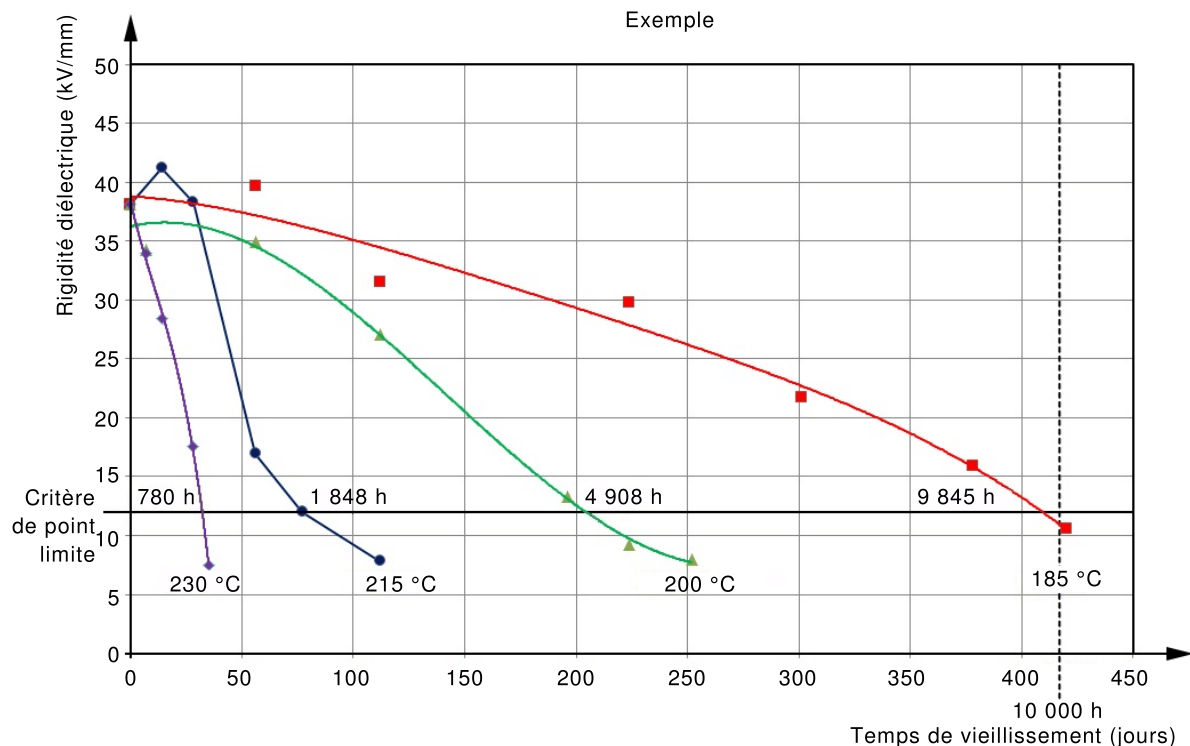
Il peut être nécessaire de remplir les espaces entre les points établis ou, si nécessaire, de les dépasser. Cette méthode assure que le nombre d'éprouvettes disponibles est suffisant pour terminer le processus de vieillissement. Le vieillissement doit se poursuivre jusqu'à l'obtention d'une rigidité diélectrique moyenne $< 8\text{ kV/mm}$ (en fonction de l'épaisseur moyenne initiale) ou d'un temps de vieillissement thermique de 10 000 h.

Répéter la même méthode avec toutes les températures.

4.2.5.4 Calculs

Le critère de point limite est de 12 kV/mm. Le choix de ce point limite est arbitraire et repose sur les expériences ayant démontré que cette valeur correspond à celle de la durée de vie réelle en service. Toutefois, sur accord particulier, d'autres points limites peuvent également être utilisés, par exemple, un pourcentage de la rigidité diélectrique moyenne de l'éprouvette initiale non vieillie.

Tracer le graphique de toutes les données moyennes de la rigidité diélectrique en fonction du temps de vieillissement. Tracer également une courbe de régression pour chaque température définie comme représenté à la Figure 2. Cela peut être obtenu par des moyens manuels ou numériques. Déterminer pour chaque courbe la durée de fin de vie (intersection avec le critère de point limite).



IEC

Figure 2 – Rigidité diélectrique – Temps de vieillissement – Graphique

Tracer un graphique de la durée de fin de vie et des températures de vieillissement avec en ordonnées une échelle de temps logarithmique et en abscisses la réciproque de la température absolue (graphique d'endurance thermique, voir la Figure 3). Conformément aux exigences de l'IEC 60216 (toutes les parties), les points de données doivent générer une ligne droite dans ce schéma. L'indice de température doit être calculé conformément à l'IEC 60216 (toutes les parties).

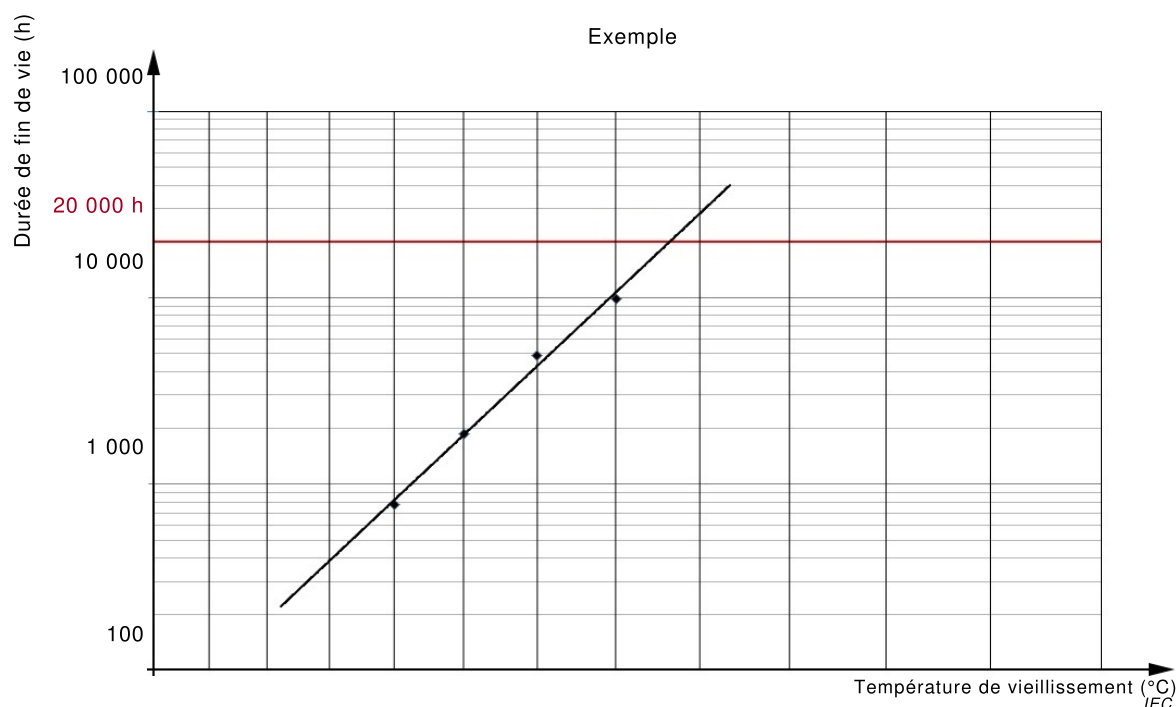


Figure 3 – Graphique d'endurance thermique

4.3 Méthode 2 – Méthode à bille pour plaque

4.3.1 Éprouvette

Sauf spécification contraire, le tissu de verre d'une toile comportant (21 ± 3) fils pour la chaîne et pour la trame et d'une masse de 40 g/m^2 à 60 g/m^2 conformément à l'ISO 2113 doit être utilisé. Le fil utilisé pour ce tissu de verre doit être identique à la chaîne et trame et doit être du type EC5, EC6 ou EC7 conformément à l'ISO 2078.

EXEMPLE 1 Le fil du type «EC5 5,5 Z 40 x 2 S 150» est un fil plié ayant des composants identiques, qui sont tordus 150 fois par mètre et sont constitués d'un seul filament continu, conformément au type EC5 5,5 Z 40 de l'ISO 2078. Ce type est constitué de filaments continus de $5 \mu\text{m}$ d'épaisseur, qui sont tordus 40 fois par mètre. La masse linéique du fil unique est de 5,5 tex. "E" signifie "bonnes propriétés électriques" et "C" signifie "filament continu". Les lettres "S" et "Z" indiquent des sens de torsion opposés. "Tex" est une mesure de la masse linéique (mg/m) du filament continu unique du système Tex (voir ISO 1144).

EXEMPLE 2 Le fil du type «EC5 11» est un filament continu unique conformément à l'ISO 2078. Ce type est constitué d'un filament continu d'une épaisseur de $5 \mu\text{m}$. La masse linéique du fil unique est de 11 tex.

La taille du tissu de verre doit être réduite au moyen d'un traitement thermique à moins de 0,1 % de la dimension initiale. Le tissu de verre doit être en verre, presque sans alcalis c'est-à-dire avec une teneur en alcali inférieure à 0,5 % ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 0,5 \%$). Des pièces d'environ $180 \text{ mm} \times 280 \text{ mm}$ doivent être découpées à partir du tissu de verre.

Pour faciliter la manipulation, des bandes de carton comprimé, par exemple de type B.2.2 selon l'IEC 60641-3-1, doivent être agrafées sur les plus petits bords de chaque pièce de tissu de verre. Des bandes d'environ $250 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 0,7 \text{ mm}$ ont été jugées utiles à cette fin. Le tissu de verre doit être imprégné et/ou revêtu.

4.3.2 Processus d'imprégnation

4.3.2.1 Généralités

L'imprégnation et/ou le revêtement du tissu de verre doivent être conformes aux recommandations du fabricant ou faire l'objet d'un accord entre les parties participantes. Cela comprend le processus d'imprégnation et/ou de revêtement en fonction de la température et

du temps, le temps d'égouttage et les conditions de durcissement en fonction de la température et du temps ou du programme de température-temps ainsi que du recuit et du refroidissement.

4.3.2.2 Vernis

Sauf spécification contraire, le tissu de verre doit être immergé dans le vernis en position verticale et à une vitesse suffisamment faible pour empêcher l'adhérence des vides d'air à la surface du tissu de verre. Le tissu de verre doit être maintenu dans le vernis pendant au moins 5 min et doit ensuite en être retiré à une vitesse uniforme d'au plus 2 mm/s.

Le tissu de verre doit être ensuite égoutté, séché et/ou durci et par ailleurs traité en position verticale selon le calendrier convenu. Pour le séchage et/ou le durcissement, l'étuve doit être spécialement conçue pour le séchage des parties peintes ou vernies, qui peuvent présenter de grandes surfaces et des quantités importantes d'évaporation du solvant. Le processus de revêtement ou d'imprégnation doit être répété par immersion, égouttage, séchage et/ou durcissement du tissu de verre en sens inverse.

L'épaisseur finale du tissu de verre imprégné ne doit pas dépasser 0,180 mm. Si l'épaisseur finale est supérieure à 0,180 mm, la consistance du vernis doit être adaptée par des essais successifs, en utilisant le diluant recommandé.

À l'issue du processus d'imprégnation, deux éprouvettes finales ((100 ± 1) mm x (100 ± 1) mm) doivent être découpées à partir de chaque pièce. Pour faciliter le montage dans les cadres et la manipulation, quatre trous d'environ 6 mm de diamètre peuvent être percés dans les coins (par un perforateur à papier).

4.3.2.3 Résines

Sauf spécification contraire, le tissu de verre doit être immergé dans la résine en position verticale et à une vitesse suffisamment faible pour empêcher l'adhérence des vides d'air à la surface du tissu de verre. Le tissu de verre doit être maintenu dans la résine pendant au moins 5 min et doit ensuite en être retiré à une vitesse uniforme d'au plus 2 mm/s.

Le tissu de verre doit être ensuite égoutté et durci et par ailleurs traité en position verticale selon le calendrier convenu. Pour le durcissement, l'étuve doit être spécialement conçue pour le séchage des parties peintes ou vernies, qui peuvent présenter de grandes surfaces et des quantités importantes d'évaporation du solvant.

L'épaisseur finale du tissu de verre imprégné ne doit pas dépasser 0,180 mm. Si l'épaisseur finale est supérieure à 0,180 mm, le processus d'égouttage et/ou de durcissement doit être adapté par des essais successifs.

À l'issue du processus d'imprégnation, deux éprouvettes finales ((100 ± 1) mm x (100 ± 1) mm) doivent être découpées à partir de chaque pièce. Pour faciliter le montage dans les cadres et la manipulation, quatre trous d'environ 6 mm de diamètre peuvent être percés dans les coins (par un perforateur à papier).

4.3.3 Système d'électrodes

L'agencement d'électrodes doit être de type à bille pour plaque. L'électrode haute tension doit être constituée d'une bille en acier poli d'un rayon de (10 ± 0,000 5) mm. Des billes en acier poli d'une rugosité de surface inférieure à 0,001 mm, comme celles utilisées dans les roulements à billes (classe III) sont faciles à trouver et ont été jugées adéquates à cet effet. L'électrode de terre doit être une plaque de (75 ± 1) mm de diamètre avec un bord arrondi de (3 ± 0,1) mm de rayon.

4.3.4 Étuves de vieillissement et températures de vieillissement

Les étuves conformes à l'IEC 60216-4-1, l'IEC 60216-4-2 et à l'IEC 60216-4-3 doivent être utilisées.

Au moins trois températures de vieillissement, de préférence plus de trois, doivent être utilisées. Les températures de vieillissement doivent différer de 10 K à 20 K. La température de vieillissement la plus basse doit permettre une durée de vie thermique d'au moins 5 000 h. Une température de vieillissement assurant une durée de vie thermique inférieure à 100 h ne doit pas être utilisée.

4.3.5 Méthode d'essai

4.3.5.1 Épaisseur des éprouvettes

Avant de procéder au vieillissement thermique, l'épaisseur doit être mesurée à l'aide d'un micromètre à vis ou d'un dispositif présentant une exactitude analogue. Au moins 5 mesurages doivent être effectués en des points répartis de façon égale sur l'éprouvette et leur moyenne doit être utilisée.

4.3.5.2 Essai de rigidité diélectrique

L'appareillage pour l'essai de rigidité diélectrique doit être conforme à l'IEC 60243-1. Le taux d'accroissement de la tension doit être de 500 V/s. L'essai de rigidité diélectrique doit être effectué à 20 mm du bord de l'éprouvette et à 30 mm d'un point de mesure précédent. L'électrode doit être placée sur l'éprouvette sans générer de contrainte mécanique inutile. Cinq mesurages de tension de claquage doivent être effectués et leur moyenne doit être utilisée.

4.3.5.3 Vieillissement et méthode d'essai

Une éprouvette ((100 ± 1) mm x (100 ± 1) mm) doit être conditionnée pendant au moins 4 h à l'atmosphère normale B selon l'IEC 60212 (23 °C ± 2 K et 50 % ± 10 % d'humidité relative) et ensuite soumise à l'essai de tension de claquage.

Des éprouvettes en nombre suffisant doivent être repérées au moyen d'une feuille en aluminium ou identifiées de façon permanente par un autre moyen et montées dans des cadres. Les cadres contenant les éprouvettes doivent ensuite être placés dans l'étuve de vieillissement. Les éprouvettes doivent être retirées à des moments prédéfinis, ce qui permet de réaliser complètement au moins deux mesurages avant et un mesurage après l'obtention du critère de point limite. Si les résultats présentent une grande dispersion, des mesurages supplémentaires peuvent être nécessaires. Après leur retrait, les éprouvettes doivent être conditionnées pendant au moins 4 h à l'atmosphère normale B selon l'IEC 60212 (23 °C ± 2 K et 50 % ± 10 % d'humidité relative) et ensuite soumises à l'essai de tension de claquage. Un graphique représentant la tension de claquage de chaque éprouvette en ordonnées en fonction du temps de vieillissement à échelle logarithmique en abscisses permet de contrôler le processus de vieillissement, de planifier les mesurages supplémentaires et de calculer la durée de fin de vie.

Répéter la même méthode avec toutes les températures.

4.3.5.4 Calculs

Le critère de point limite est de 3 kV/mm. Le choix de ce point limite est arbitraire et repose sur les expériences ayant démontré que cette valeur correspond à celle de la durée de vie réelle en service. Toutefois, sur accord particulier, d'autres points limites peuvent également être utilisés, par exemple, un pourcentage de la rigidité diélectrique moyenne de l'éprouvette initiale non vieillie.

Tracer le graphique de toutes les données moyennes de la tension de claquage en fonction du temps de vieillissement à échelle logarithmique. Tracer également une courbe de régression pour chaque température définie (voir la Figure 4). Cela peut être obtenu par des moyens manuels ou numériques. Déterminer pour chaque courbe la durée de fin de vie (l'intersection avec le critère de point limite).

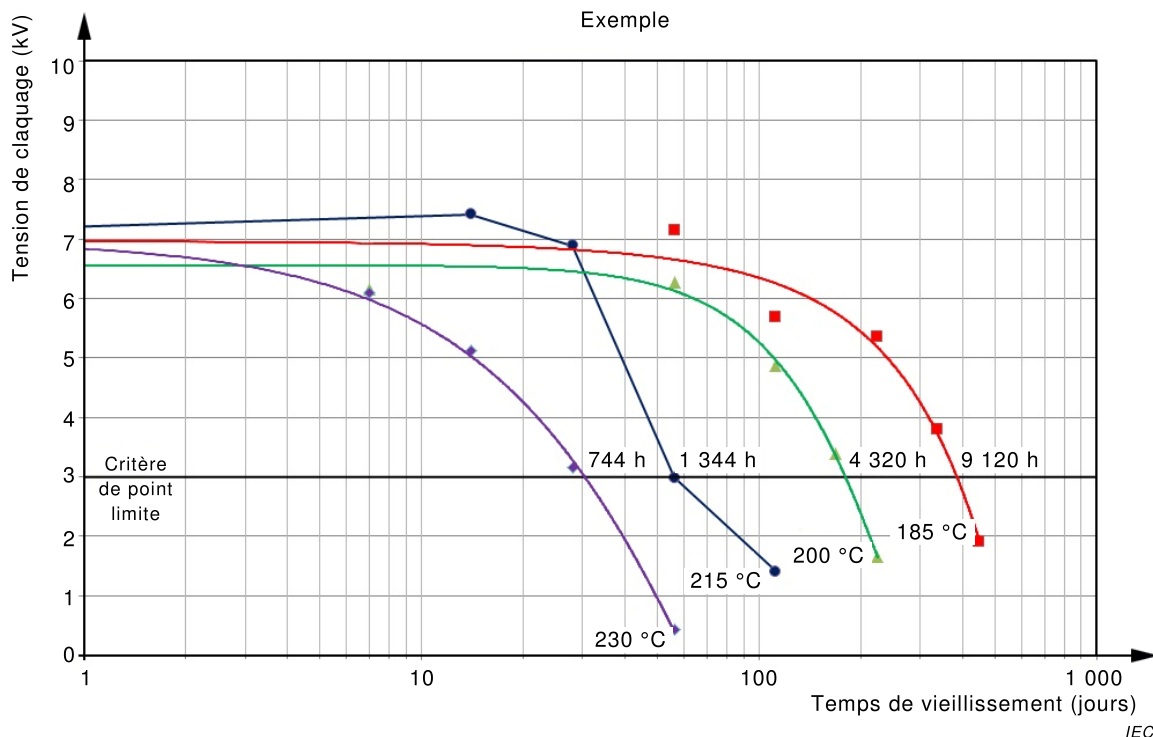


Figure 4 – Tension de claquage – Temps vieillissement – Graphique

Tracer un graphique de la durée de fin de vie et des températures de vieillissement avec en ordonnées une échelle de temps logarithmique et en abscisses la réciproque de la température absolue (graphique d'endurance thermique, voir la Figure 5). Conformément aux exigences de l'IEC 60216 (toutes les parties), les points de données doivent générer une ligne droite dans ce schéma. L'indice de température doit être calculé conformément à l'IEC 60216 (toutes les parties).

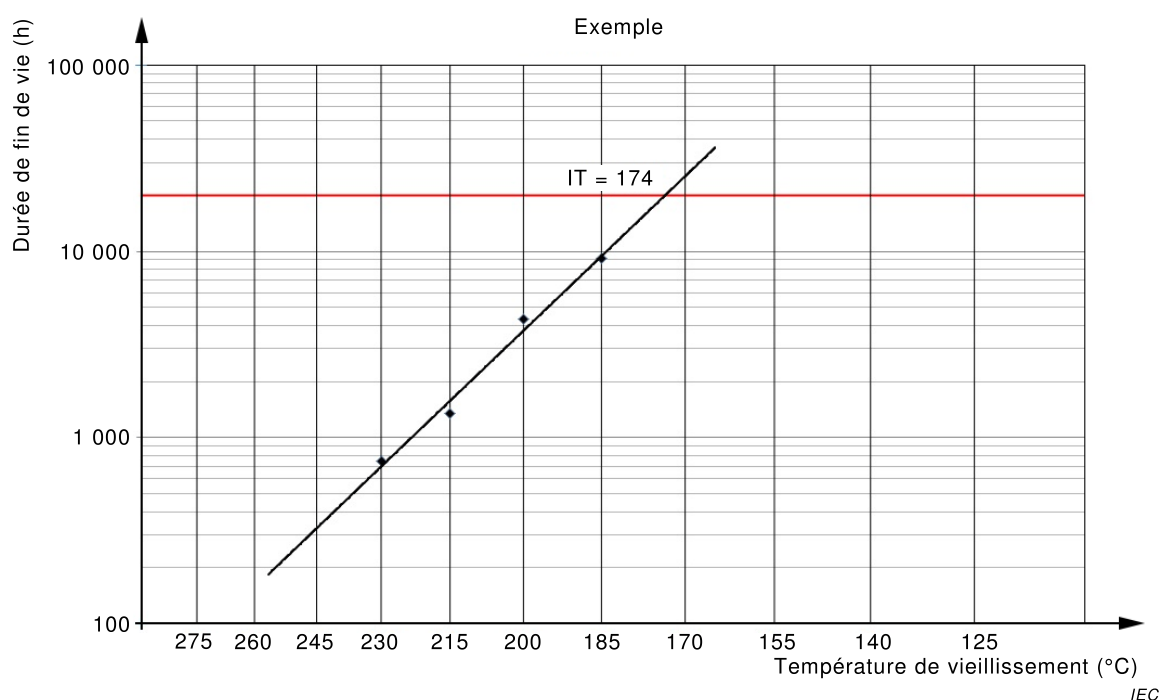


Figure 5 – Graphique d'endurance thermique

5 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit comporter les informations suivantes:

- une description de la résine ou du vernis (type, fabricant, propriétés physiques, etc.);
- le tissu de verre utilisé;
- la préparation des éprouvettes et les conditions de durcissement;
- l'épaisseur moyenne de l'éprouvette;
- la méthode utilisée, y compris les propriétés mesurées et les critères de point limite;
- les valeurs initiales moyennes et toutes les valeurs moyennes pour chaque graphique de température de vieillissement et temps de vieillissement;
- la durée de fin de vie pour chaque température;
- le graphique d'endurance thermique en fonction de l'indice de température (IT);
- toutes les observations pertinentes pendant les essais.

Bibliographie

IEC 60455-2, *Resin based reactive compounds used for electrical insulation – Part 2: Methods of test* (disponible en anglais seulement)

IEC 60464-2, *Vernis utilisés pour l'isolation électrique – Partie 2: Méthodes d'essai*

ISO 1144:1973, *Textiles – Système universel de désignation de la masse linéique (système Tex)*

ASTM D1932, *Standard Test Method for Thermal Endurance of Flexible Electrical Insulating Varnishes* (disponible en anglais seulement)

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