

TECHNICAL SPECIFICATION

SPECIFICATION TECHNIQUE



**Electrical insulation systems (EIS) – Thermal evaluation of combined liquid and solid components –
Part 2: Simplified test**

**Systèmes d'isolation électrique (SIE) – Évaluation thermique de composants liquides et solides combinés –
Partie 2: Essai simplifié**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 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 more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 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 plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 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.

TECHNICAL SPECIFICATION

SPECIFICATION TECHNIQUE



**Electrical insulation systems (EIS) – Thermal evaluation of combined liquid and solid components –
Part 2: Simplified test**

**Systèmes d'isolation électrique (SIE) – Évaluation thermique de composants liquides et solides combinés –
Partie 2: Essai simplifié**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

T

ICS 29.080.30

ISBN 978-2-8322-1514-2

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	9
4 Thermal ageing test apparatus	10
4.1 General description.....	10
4.2 Sealed tubes.....	10
4.3 Gas blanketing system.....	11
4.4 Pressure relief system	11
4.5 Ageing ovens	11
5 Construction of the test object	12
5.1 General.....	12
5.2 Determination of component weights.....	12
5.3 Test object.....	12
5.3.1 Conductor insulation	12
5.3.2 Other solid insulation components	13
5.3.3 Liquid component	13
5.3.4 Structural components	13
5.3.5 Other components	13
6 Test procedures	14
6.1 General.....	14
6.2 Preparation of the test objects	14
6.2.1 General	14
6.2.2 Reference test object.....	14
6.2.3 Candidate test object.....	15
6.3 Diagnostic tests	16
6.3.1 General	16
6.3.2 Solid insulation	16
6.3.3 Liquid insulation	16
6.4 End-point testing.....	16
6.5 Simplified one-point test	17
7 Analysis of data	17
7.1 End-point criteria	17
7.1.1 General	17
7.1.2 End-of-life of the solid component.....	17
7.1.3 Extrapolation of data.....	17
7.2 Report.....	17
Annex A (informative) Consideration of weight ratios	19
A.1 Examples of transformers leading to actual weight ratios in Table A.1	19
A.2 Calculation of core steel surface ratios	19
A.3 Calculation of copper components of test.....	20
A.3.1 Wire enamel samples	20
A.3.2 Bare copper samples	20

Annex B (informative) Consideration of ageing time and temperature	21
Annex C (informative) Aging example	22
C.1 Reference system test	22
C.2 Candidate system test	22
Bibliography.....	25
Figure 1 – Sealed tube example.....	11
Figure B.1 – Reference EIS system	21
Figure C.1 – Example of aging result at a temperature of 165 °C	23
Figure C.2 – Aging life curve.....	24
Table 1 – Reference component weight ratio calculations	12
Table 2 – Reference EIS ageing conditions and candidate EIS ageing temperatures	15
Table 3 – Recommended ageing temperatures and periods for expected thermal class	15
Table A.1 – Examples obtained from industry sources	19
Table A.2 – Examples of component volume ratio calculations.....	19
Table C.1 – Calculation of end-of-life criteria for comparative evaluation	22
Table C.2 – Example of aging experiment.....	23

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS (EIS) – THERMAL EVALUATION OF COMBINED LIQUID AND SOLID COMPONENTS –

Part 2: Simplified test

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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- the subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC TS 62332-2, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems.

The text of this technical specification is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
112/256/DTS	112/268/RVC

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

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

A list of all the parts in the IEC 62332 series, published under the general title *Electrical insulation systems (EIS) – Thermal evaluation of combined liquid and solid components*, can be found on the IEC website.

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

- transformed into an International standard,
- 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 technical specification describes a method for the thermal evaluation of electrical insulation systems (EIS) for electrotechnical products with combined liquid and solid components. More specifically, this part addresses liquid immersed power transformers. Part 1 covers general test requirements. This Part 2 covers a simplified test method which can be used as a screening test prior to conducting Part 1 testing or it can be used to determine a thermal classification of an EIS. This method can also be used as a quality control test to evaluate minor product changes.

This specification provides a standardized test method for sealed tube testing. The sealed tube should contain all the primary EIS elements, and in relative component ratios which compare with actual liquid immersed power transformers.

This technical specification has been prepared in conjunction with IEC TC 14, *Power transformers* and IEC TC 10, *Fluids for electrotechnical applications*. Any comments or suggestions from other technical committees to make this technical specification more general are welcome.

ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS (EIS) – THERMAL EVALUATION OF COMBINED LIQUID AND SOLID COMPONENTS –

Part 2: Simplified test

1 Scope

This part of IEC 62332, which is a technical specification, is applicable to EIS containing solid and liquid components where the thermal stress is the dominant ageing factor, without restriction to voltage class.

This part specifies a sealed tube test procedure for the thermal evaluation and qualification of electrical insulation systems (EIS). One aspect of this procedure is to also provide a method to assign thermal classifications to materials used in EIS where solid and liquid components are both used. This procedure describes a comparative ageing method whereby a reference system composed of kraft paper and mineral oil is compared to a candidate system of any combination of solid and insulating liquid. The test procedures in this part are specifically applicable to liquid immersed transformer insulation systems.

Similar procedures should also work for other electrotechnical devices with a combination of liquid and solid components, such as bushings, cables or capacitors, but this will be added as additional parts once experience is gained using this technical specification.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60085, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60156, *Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method*

IEC 60216-2:2005, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 2: Determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Choice of test criteria*

IEC 60216-3, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics*

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

IEC 60216-5, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material*

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

IEC 60247, *Insulating liquids – Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) and d.c. resistivity*

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

IEC 60317 (all parts), *Specifications for particular types of winding wires*

IEC 60450, *Measurement of the average viscometric degree of polymerization of new and aged cellulosic electrically insulating materials*

IEC 60505:2011, *Evaluation and qualification of electrical insulation systems*

IEC 60554-2, *Cellulosic papers for electrical purposes – Part 2: Methods of test*

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

IEC 60599, *Mineral oil-impregnated electrical equipment in service – Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis*

IEC 60763-2, *Specification for laminated pressboard – Part 2: Methods of test*

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

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

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

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

IEC 62021-1, *Insulating liquids – Determination of acidity – Part 1: Automatic potentiometric titration*

IEC 62021-2, *Insulating liquids – Determination of acidity – Part 2: Colourimetric titration*

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

IEC TS 62332-1:2011, *Electrical insulation systems (EIS) – Thermal evaluation of combined liquid and solid components – Part 1: General requirements*

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

ISO 2211, *Liquid chemical products – Measurement of colour in Hazen units (platinum-cobalt scale)*

ASTM D971, *Standard Test Method for Interfacial Tension Of Oil Against Water By The Ring Method*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply, some of which are taken from IEC 60505.

3.1

electrical insulation system

EIS

insulating structure containing one or more electrical insulating materials (EIM) together with associated conducting parts employed in an electrotechnical device

Note 1 to entry: EIMs with different temperature indices (ATE RTE according to IEC 60216-5) may be combined to form an EIS, which has a thermal class that may be higher or lower than that of any of the individual components according to IEC 60505.

[SOURCE: IEC 60505:2011, 3.1.1 – modified, the Note 1 to entry has been added]

3.2

candidate EIS

EIS under evaluation to determine its service capability (thermal)

3.3

reference EIS

evaluated and established EIS with either a known service experience record or a known comparative functional evaluation as a basis

3.4

thermal class

designation of an EIS that is equal to the numerical value of the maximum temperature in degrees Celsius for which the EIS is appropriate according to IEC 60085

Note 1 to entry: An EIS may be subjected to operating temperatures exceeding its thermal class, which can result in shorter expected life.

3.5

EIS assessed thermal endurance index

EIS ATE

numerical value of the temperature in degrees Celsius for the reference EIS as derived from known service experience or a known comparative functional evaluation

3.6

EIS relative thermal endurance index

EIS RTE

numerical value of the temperature in degrees Celsius for the candidate EIS which is relative to the known EIS ATE of a reference EIS when both EIS are subjected to the same ageing and diagnostic procedures in a comparative test

3.7

test object

piece of original equipment, a representation (model) of equipment, a component of or part of equipment, including the EIS, intended for use in a functional test

3.8

thermal ageing factor

thermal stress that causes irreversible changes in the EIS

3.9

diagnostic test

periodic application of a specified level of a diagnostic factor to a test object to determine whether the end-point criterion has been reached

3.10

end-point criterion

selected value of either a property or a change of property that defines the end of a component's life

[SOURCE: IEC 61857-1:2008, 3.11, modified – "component's life" replaces "test object in a functional test"]

3.11

end-of-life

end of a test object's life, as determined by any selected component meeting its end-point criterion

3.12

sealed tube

sealed container partially filled with the liquid EIM and in which includes the solid EIM in relative component ratios which compare with the actual electrotechnical device

3.13

halving value

HIC

numerical value of the temperature interval in Kelvins which expresses the halving of the time to end-point taken at the temperature equal to TI

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-12-13, modified – "equal to TI" replaces the original "corresponding to the temperature index or the relative temperature index"]

4 Thermal ageing test apparatus

4.1 General description

The thermal ageing test apparatus shall be designed to allow the ageing of solid and liquid components. The reference and candidate EIS shall be exposed to test periods at selected elevated temperatures. These test periods consist of a specific time exposure at the selected temperature followed by diagnostic tests. The test system consists of the following elements:

- sealed tubes
- ageing ovens
- test objects.

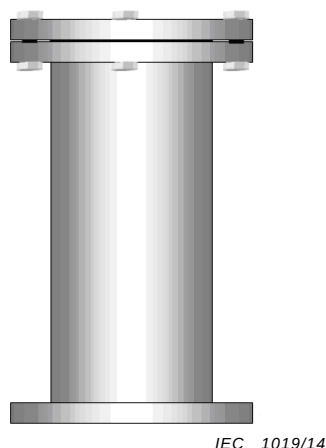
4.2 Sealed tubes

Each sealed tube is a container constructed of stainless steel or other suitable materials such as glass, the size to be determined by the size of the test objects. Additionally, the material for the tube shall either not affect the ageing (such as glass or stainless steel) or identically constructed tubes shall be used for all sets of experiments. The cell volume shall consider the space required for thermal expansion of the liquid at ageing temperatures, as well as space for the EIM to be evaluated. The EIM to be evaluated should be fully immersed in the liquid during the entire test period. Either one or both ends of the cell shall be fitted with removable, sealable bolt-on covers.

Ports shall be provided for

- sampling of the liquid,
- gas blanketing and associated pressure relief system.

For example, see Figure 1.



IEC 1019/14

Figure 1 – Sealed tube example

4.3 Gas blanketing system

A gas blanketing system shall be provided which simulates the insulation system used in the transformer being evaluated. This can be a sealed gas system, which maintains a gas blanket over the liquid in the cell for the purpose of reducing oxidation of the liquid. In each case, the gas blanket in each cell shall be regulated to maintain a positive pressure as is described in below in 4.4.

Free breathing liquid preservation systems are not included due to safety hazard of testing liquids at temperatures above their flashpoints where additional oxygen is available. In the case of a sealed test, the amount of available oxygen is limited.

NOTE Oxygen is known to increase ageing of insulation systems, so a test with air would be expected to be more severe than one sealed with nitrogen.

4.4 Pressure relief system

A pressure relief valve shall be installed on each cell to prevent the internal cell pressure from rising above the capability of the sealed tube. Additionally, the test should simulate the end application which is under evaluation. As an example, for liquid-immersed transformer applications, the transformer tanks are designed to operate at a pressure of up to 150 kPa. The technical evaluation for this design should use a method (such as a pressure relief valve) to control the pressure in the cells at a level consistent with the end use application being evaluated. If not otherwise specified, choose a level of 150 kPa for this test pressure.

Pressure control has two functions. The first is for safety and the second is to control the pressure at a low consistent level to better model the actual transformer application. This pressure control can be accomplished by using a pressure relief valve equal to that used on the transformer for which the evaluation is being conducted, or by the means of an expanding bellows which allows increasing gas space of the test cell without an increase of pressure.

4.5 Ageing ovens

The ageing ovens used shall meet the requirements of IEC 60216-4-1.

5 Construction of the test object

5.1 General

The test object is designed to model the EIS portion of the transformer under evaluation and usually consists of

- a conductor insulation,
- other solid insulation components,
- structural components,
- metallic materials (typically copper or aluminium and steel),
- an insulating liquid,
- other components in the candidate if they differ from the reference system and if they reasonably affect the outcome of the test.

5.2 Determination of component weights

It is important that the ratios of weights of components used to construct the test object shall be representative of the candidate transformer being modelled. Determine the percentage of each individual component as a part of the total weight. The percentages shall be used to determine the weight of those individual components to be used in the construction of the test object. In a family of products with the same specific EIS, the ratio of weight of the individual components to the total weight should be similar. Other components which affect aging based on surface area are included on this basis.

Table 1 provides the weights and dimensions of the components to be used in the reference test. This table is based on the ratio of materials assuming 100 g of solid for each type of EIS. Each of the items in this table is described in more detail in the clauses following the table. The reference should be selected that is most appropriate for the candidate under test.

Table 1 – Reference component weight ratio calculations

Test material descriptions	Transformer type		
	Distribution	Power – Core type	Power – Shell type
Insulating liquid	1 330 g	760 g	330 g
Conductor insulation		10 g	10 g
Layer insulation	50 g		
Low density pressboard	50 g	10 g	80 g
High density pressboard		80 g	10 g
Ratio – Liquid to solid	13,3 to 1	7,6 to 1	3,3 to 1
Surface area of core steel	9,6 cm ²	9,6 cm ²	9,6 cm ²
Enamel wire samples	5 samples	5 samples	5 samples
Surface area of copper	9,6 cm ²	9,6 cm ²	9,6 cm ²

In addition to the ratios of the solid and liquid insulation components shown in Table 1, other materials as described in 5.3.4 and 5.3.5 should be included as well, but are not included here for simplicity. Enamel wire samples are described in Annex A.

5.3 Test object

5.3.1 Conductor insulation

Depending on the type of transformer, the conductors can range from small round wires, to larger rectangular wires or metal foils. The insulation for each of these may differ. The

insulation may be either enamel coating, conductors wrapped with thin insulating materials or, in the case of the metal foils, thicker papers/films, sometimes with adhesive coatings.

The conductor insulation should be tested in a way that can allow estimation of the expected thermal capability of the material when combined with a fluid. For thin wire wrap materials, the test specimens can be pre-cut tensile strips. A minimum of 20 test specimens per ageing cell should be included in each cell. For enamel coated round wires, twisted wire pairs of can be aged, again with a minimum of 20 test specimens per ageing cell. For applications such as distribution transformers, the thicker layer papers or films used with metal foils, can be evaluated similar to the thin wire wrap materials.

For papers/films with adhesive coatings, a separate test to evaluate the technical characteristic of the adhesive should be conducted. The failure mode for this test may be bond strength retention of the adhesive rather than a tensile retention test of the base paper/film insulation.

Include the same ratio of exposed surface area of the conductor metal (copper or aluminium) as in the transformer being evaluated for paper/film wrapped conductors.

5.3.2 Other solid insulation components

Other solid materials are typically used in the transformers. These components include pressboard products that are adjacent to the conductors (spacer materials), and as such experience the same temperature extremes as the conductor insulation or other materials which are used in the cooler part of the transformer (such as cylinders or oil-flow barriers). In other type of designs, the insulated conductors may be separated by insulating papers which again experience the same extreme temperatures as the conductor insulation. Each of these materials should be included in the correct ratio as described in 5.2.

5.3.3 Liquid component

The cell shall be filled with the liquid component used in the transformer being evaluated. The weight of the liquid shall be determined from requirements in 5.2 based on weight and temperature calculations. Care shall be taken to allow space for expansion of the liquid in the cell at elevated temperatures.

5.3.4 Structural components

Other materials are used in the transformer that are for “mechanical purposes” only, and have no direct impact on electrical performance of the insulation system, but if they fail in the application, could cause a degradation of the insulation system. Examples of such components include, but are not limited to, tie cords, netting tapes, adhesive tapes, etc. Many of these components are manufacturing aids, so a failure in operation is not a design problem, as long as the components degrade in a way that does not affect the other materials (chemical compatibility) or affect design parameters, e.g. block cooling.

These materials could be included in the test consistent with 5.2.

NOTE At present, no method has been developed as to how to evaluate the addition of these materials into the test object. Once experience with this test specification has been obtained, a method to evaluate these materials will be added.

5.3.5 Other components

For products being simulated, representative components that are not included in the EIS but are expected to affect it, shall be included. Examples include pieces of core steel, material supporting the leads, coatings, solder and enclosure materials. The relative weights of these components should match those of the evaluated product, with the exception of magnetic core steel and tank material. The relative quantity of magnetic core steel and tank shall be determined, based on the surface area exposed to the liquid component. An example is given

in Annex A. Core steel is considered a surface area rather than a weight ratio since only the surface is available to affect the aging of the insulation system.

In addition to the core steel, these materials could be included in the test consistent with 5.2.

NOTE At present no method has been developed as to how to evaluate the addition of these materials into the test object. Once experience with this test specification has been obtained, a method to evaluate these materials will be added.

6 Test procedures

6.1 General

A three-temperature ageing test shall be completed to establish the thermal rating of the new system. A reference EIS shall be used to validate the testing of the candidate EIS. Unless otherwise stipulated by the equipment technical committee, the reference system shall be cellulose solid insulation and mineral oil.

NOTE For transformers which include enamel coated wires, the enamel coated wires to be evaluated as part of the reference EIS are specified in IEC 60317 – PVF (polyvinyl formal).

6.2 Preparation of the test objects

6.2.1 General

The quantity of samples of solid and liquid insulation should be sufficient to supply all reference and candidate test objects and requirements for diagnostic testing.

All solid samples shall be pre-conditioned by drying. Lower temperature drying will take longer than high temperatures, but will prevent damage of the insulation prior to the ageing experiment. For optimum drying conditions, refer to the relevant material testing standards. The moisture content of the solid insulation materials shall be between 0,25 % and 0,50 % at the start of the ageing.

Immediately after drying, the conductor materials, other solid materials and all additional materials shall be vacuum-impregnated with the liquid under evaluation. The impregnation process is conducted for 6 h to 24 h, at 70 °C to 90 °C.

Prior to inserting the test objects into the ageing cell, remove the pre-conditioned solid and liquid diagnostic test samples. Verify the initial moisture content after the impregnation process to determine whether or not the materials are adequately dried prior to start-up.

A clean, dry ageing cell is then filled with the previously determined weight of liquid and the impregnated solid components are inserted. The cell is quickly sealed then purged with dry sealing gas.

Following its assembly, the ageing cell is placed into an ageing oven. The temperature of the oven is then increased to the ageing temperature.

6.2.2 Reference test object

The reference EIS shall be composed of solid materials and liquid that have an established performance in combination. At the time of issue of this technical specification, the only established reference EIS is composed of cellulose solid materials and mineral oil. The EIS ATE of this reference system is recognized to be 105 °C. However, if the equipment technical committee has established another EIS with known performance, this may be used as the reference EIS. The equipment technical committee should provide specific details:

- conductor with Kraft cellulose insulation (samples described in 5.3.1);

- non-inhibited mineral oil according to IEC 60296.

For verification of reference EIS ageing, a single set of three test objects composed of the reference EIS shall be evaluated along with the candidate test objects. For the reference EIS cellulose and mineral oil system, the ageing temperatures shall be as shown below.

Testing shall be carried out with three temperatures for the referenced EIS as shown in Table 2 below. Evaluate the per cent tensile strength of the three sets and average them for the end of life criteria for the candidate system. Ageing times for the reference EIS is based on a 20,000 h life at the ATE (of 105 °C) with a HIC of 6 K.

Table 2 – Reference EIS ageing conditions and candidate EIS ageing temperatures

Insulation system	Expected increase in thermal rating °C	Ageing time 3 536 h °C	Ageing time number 2: 625 h °C	Ageing time number 3: 110 h °C
Reference EIS		130	145	160
Candidate EIS	10	140	155	170
	20	150	165	180
	30	160	175	190
	40	170	185	200
	50	180	195	210
	60	190	205	220

The expected value for the reference EIS at the above times and temperatures is in the range of 25 % tensile strength. For dielectric strength of enamel coated wire, the expected value is in the range of 80 % retained dielectric strength. In either case, the property retention of the reference EIS will determine the end of life criteria for the candidate EIS. Unless there is a good reason for an alternative end of life test (other than tensile strength for solid insulation and dielectric strength for enamel/wire coatings) these should be chosen.

6.2.3 Candidate test object

At least four ageing cells shall be used for the candidate system for each test temperature. At least one cell shall have ageing results that extend past the end of life criteria determined from the reference EIS testing for each test temperature.

Select the ageing temperatures for the candidate EIS, based on the expected thermal class from IEC 60085, listed below in Table 3. The four ageing period durations are defined for each ageing temperature.

Table 3 – Recommended ageing temperatures and periods for expected thermal class

Duration of ageing period h	Expected thermal class								
	90 °C	105 °C	120 °C	130 °C	140 °C	155 °C	180 °C	200 °C	220 °C
2 000/4 000/6 000/8 000	110	125	140	150	160	175	200	220	240
500/1 000/1 500/2 000	125	140	155	165	175	190	215	235	255
100/200/300/400	140	155	170	180	190	205	230	250	270

The physical shape, size and construction of the reference and candidate test objects shall be similar, with one or more of the solid materials and/or liquid replaced with the candidate materials to be evaluated.

6.3 Diagnostic tests

6.3.1 General

Samples of the solid insulation shall be tested prior to start-up and after shutdown of each cell. Electrical or physical properties of the solid insulation shall be measured according to the end of life criteria selected. Changes between the initial and final states shall be used to determine the amount of degradation occurring during the testing cycle.

6.3.2 Solid insulation

At start-up, the solid insulation samples pre-conditioned according to 6.2 shall be tested using one or more diagnostic tests to determine end of life. Additional tests may be used for monitoring purposes. In some cases multiple methods are available for diagnostic testing. It is important to use the same test method for both the reference and candidate EIS. Examples of typical diagnostic tests for solid materials are as follows:

Characteristics	Test specification
Dielectric strength in oil:	IEC 60243-1
Dielectric strength of winding wire:	IEC 60851-5
Tensile strength:	IEC 60554-2
Compression strength:	IEC 60763-2
Degree of polymerization (cellulose):	IEC 60450

Solid insulation includes enamel coated wires. Most of the above test methods are not appropriate for enamel coated wires. In such cases, the key characteristic to monitor for the enamel coated wires is the dielectric strength retention. There has only been limited experience using such coated wires with this test method.

6.3.3 Liquid insulation

At start-up, the liquid insulation pre-conditioned according to 6.2 shall be tested using one or more diagnostic tests to use for characterization. It is important to use the same test method for both the reference and candidate EIS. Examples of typical diagnostic tests for liquids are as follows:

Characteristic	Test specification
Colour and appearance:	ISO 2049 or ISO 2211
Breakdown voltage:	IEC 60156
Interfacial tension:	ASTM D971
Acidity:	IEC 62021-1, IEC 62021-2, or IEC 62021-3
Dielectric dissipation factor (DDF)	IEC 60247 or IEC 61620
Water content:	IEC 60814
Dissolved gas:	IEC 60567 and IEC 60599
Furanic compound concentrations in oil:	IEC 61198

NOTE Concentrations of furanic compounds such as 2-furfural are useful as a measurement of the degradation of cellulose tested in the oil.

6.4 End-point testing

The diagnostic test of the solid samples shall be selected according to 6.3, for example, from among the following:

- tensile strength;
- compression strength;
- degree of polymerization;
- solid dielectric strength;
- dielectric strength of enamel coated wires.

The end-point criteria may be established for each diagnostic test with suitable justification as reported in Clause 7.

6.5 Simplified one-point test

A simplified single point ageing can also be conducted for the purpose of quality control, minor product changes or for screening prior to a full three-point evaluation. The procedure would be similar to that described for the three-point ageing, however in this case the comparison to the reference EIS is conducted at the midpoint temperature of the reference EIS test.

While a complete thermal index may not be determined based on such a single point test, this test could be used to understand the expected capability of a proposed candidate EIS without the time and effort of completing a full evaluation.

7 Analysis of data

7.1 End-point criteria

7.1.1 General

The criteria by which a test object is considered to have failed shall be fully defined prior to the start of the test. An adequate test shall be included in the test period to detect when a failure occurs, denoting end-of life for each test object. The use of more than one end-point criterion will tend to make interpretation of the test results more difficult. It is recommended that only one end-point criterion be used for each component in the test object (solid/liquid).

7.1.2 End-of-life of the solid component

The preferred end-point criterion for the solid insulation shall be degradation of the original value of the selected mechanical property from 6.4 or the corresponding DP value in case of paper. Other choices for end-point criterion are described in Table 1 of IEC 60216-2:2005. The end of life value for the candidate EIS shall be determined based on the test of the same component in the reference EIS.

NOTE 1 This may not be valid for other materials, e.g enamel coated wires, where the end of life criteria of 80 % retention of dielectric strength is expected. As there is limited experience with this method and enamel coated wires, this number may be conservative, and with experience may be changed to a different number.

The total number of hours to end-of-life shall be recorded for the solid component in the test object at each ageing temperature. The life (in hours) at each ageing temperature shall be calculated according to IEC 60216-3.

7.1.3 Extrapolation of data

Linear regression analysis on the solid component data shall be carried out in accordance with IEC 60216-5. Interpretation of the analysis will be included according to IEC 60505.

7.2 Report

The report shall include all records, relevant details of the test, and analysis, including

- reference to this technical specification,
- description of the EIS tested (reference and candidate EIS),
- ageing temperatures and ageing periods of each EIS,
- sealing gas and pressure used for evaluation,
- diagnostic tests and end-point criterion used for each EIS,
- detailed description of the test objects (including weight ratios),
- number of test objects at each temperature for each EIS,
- individual times to end-of-life for each component,
- mean log times to end-of-life for each ageing temperature, for each EIS.

Multiple point ageing tests shall also include

- regression line with log mean points, for the solid component,
- regression equation and coefficient of correlation for the solid component,
- EIS ATE and/or thermal class of the reference EIS solid component,
- EIS RTE and assigned thermal class of the candidate EIS solid component.

Annex A (informative)

Consideration of weight ratios

A.1 Examples of transformers leading to actual weight ratios in Table A.1

Table A.1 – Examples obtained from industry sources

Distribution transformers		Power transformers – Core form		Power transformers – Shell form	
Example	Oil/solid ratio	Example	Oil/solid ratio	Example	Oil/solid ratio
Distribution	10,0	Large power	6,1	Large power	3,3
2 500 kVA	10,5	50 MVA	6,2		
100 kVA	12,2	508 MVA	7,0		
1 600 kVA	12,6	20 MVA	7,5		
NEMA MW 1000 Std.	13,3	IEC 62332-1	7,6		
25 kVA	13,6	450 MVA	8,0		
630 kVA	14,2	40 MVA	8,0		
1 000 kVA	15,0	290 MVA	9,0		

The above list of transformers contains examples obtained from industry sources. The values in boldface are what were used to make up Table 1 in 5.2. The values in boldface are close to the average of the values from which they are listed and are also close to the median value. Additionally, these values are also used already in other similar industry test methods.

A.2 Calculation of core steel surface ratios

Subclause 5.3.5 describes the need to specify the surface area of the core steel to be included in the sealed tube testing. The core steel surface area may impact the aging process of the insulation system. A wide range of transformers were surveyed (100 kVA to 400 MVA), and this resulted in a broad range of ratios of core steel to insulating liquid. Using Table A.2 below (taken from Table A.1 of IEC TS 62332-1:2011), a calculated surface area of 9,6 cm² was obtained for power transformers. The calculated ratio of 12,6 is lower than the data submitted (ranging from 15 cm to 60 cm²/kg of fluid), but is used to be consistent with IEC TS 62332-1.

Table A.2 – Examples of component volume ratio calculations

Component (ratio)	Materials (units)	Reference transformer	Reference model (cellulose)	Candidate model (hybrid)
A	Hot insulation volume (cm ³)	269 000	155	165
B	Low temperature insulation volume (cm ³)	683 000	373	373
C	Mineral oil volume (cm ³)	8 325 000	3 270	3 270
D	Core surface area (cm ²)	128 000	69,7	69,7
(B/A)	Low temperature insulation/hot insulation	2,54	2,41	2,26
(B/C)	Low temperature insulation/liquid	0,082	0,114	0,114
(A/C)	Hot insulation/liquid	0,032	0,048	0,050
(B/D)	Low temperature insulation/core area	5,34	5,36	5,36

A.3 Calculation of copper components of test

A.3.1 Wire enamel samples

Prepare 5 wire samples as described in IEC 60851-5 of heavy film-coated wire sized from 1,00 mm to 1,12 mm. This will be the volume of wire samples for all tests. For equipment where a high volume of wire enamel is used, more than 5 samples can be included in the test, but only 5 samples need to be tested electrically.

NOTE It is impractical to include sufficient wire samples to represent the weight of copper present in the transformer, as the ratio of copper weight to insulating fluid weight ranged from 0,40 to 0,70 in the example transformers, which would have required 100 wire samples for the power transformer example. With a lower ratio of enamel coated wire than is actually used in the transformer, the evaluation will look at negative effects of degradation products from the solid insulation materials on the enamel and not vice versa.

A.3.2 Bare copper samples

Exposed bare copper is present in most liquid immersed transformer insulation systems, either as foil in low voltage windings of distribution transformers or as leads in all types of transformers. Paper wrapped copper windings are also present in many transformers. For this reason, samples of bare copper should be present in this test set-up to address the potential of copper to act as a catalyst in some degradation reactions. Surveyed values for copper area to liquid weight showed a very large range of values, however most of the copper is covered. To simplify the values in Table 1, the same volume of bare copper (9,6 cm²) was selected for each of the types of transformers as that selected for core surface area.

Annex B (informative)

Consideration of ageing time and temperature

As described in 6.2.2, 20,000 h as the ATE with a HIC of 6 K was chosen as a basis for aging. This is very close to life assumption in the loading guide IEC 60076-7. For non-upgraded Kraft papers, the HIC is assigned as 6 K and normal life depends on the conditions (moisture, access to oxygen, etc.). In the graph below, 150,000 h was used for this normal life at 98 °C.

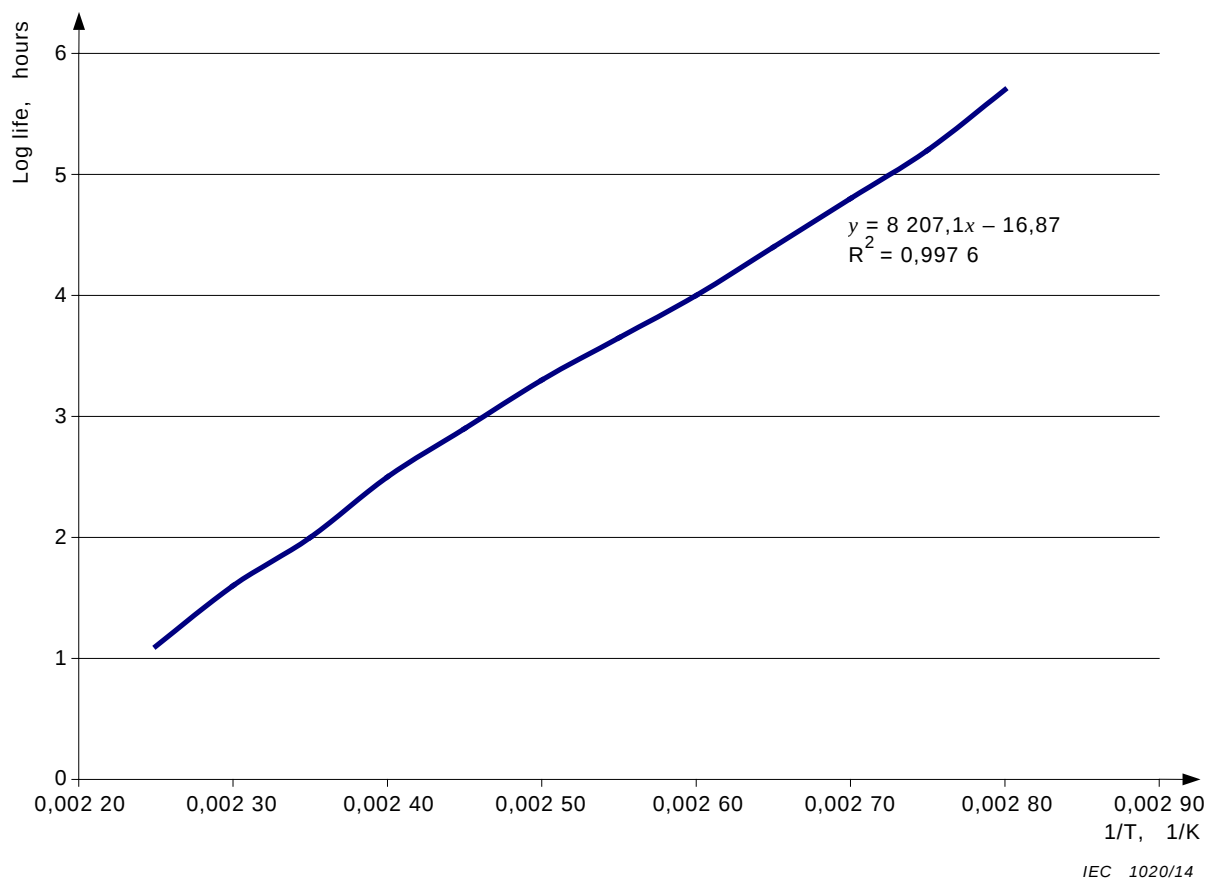


Figure B.1 – Reference EIS system

Annex C (informative)

Aging example

C.1 Reference system test

The values in Table C.1 are a fictitious example of the results from a test for the evaluation of the reference system under the conditions described in Table 2. The listed values in this table are provided as percentages. They could be the per cent retention of any of the values of the parameters described in 6.3.2.

When conducting the aging experiments for the reference system, it would be advantageous to test multiple parameters of the components of the reference EIS. Multiple end-of-life criteria could then be available for comparison to the candidate EIS.

Table C.1 – Calculation of end-of-life criteria for comparative evaluation

		Aging time 130 °C	Aging time 145 °C	Aging time 160 °C
Insulation system		3 536 h	625 h	110 h
Reference EIS	Test one %	43,3	44,0	42,4
	Test two %	47,0	46,5	38,0
	Test three %	45,3	35,0	45,6
	Average result		43,01 %	

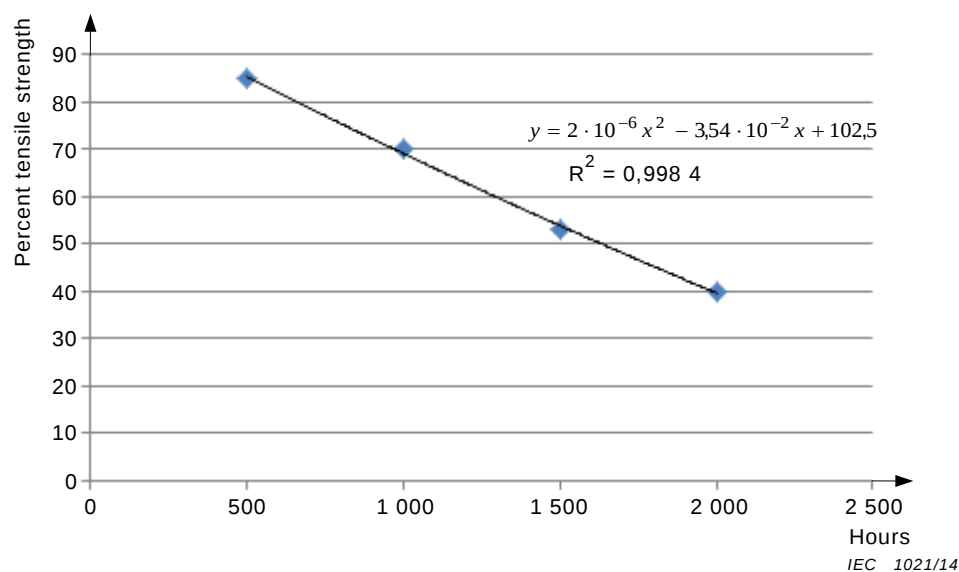
C.2 Candidate system test

Once the end-of-life criteria for the test program has been determined for the reference EIS, then the aging of the candidate system can be conducted. Of course, both sets of aging can be conducted concurrently, but the full analysis of the candidate system is not possible until the end-of-life criteria has been established. As was described in 6.2.3, the expected thermal class for the candidate system is identified, and then by using Table 3, the aging program can proceed. Table C.2 is a made up example of such an experiment, for a candidate EIS expected to qualify as a 130 °C thermal class.

Table C.2 – Example of aging experiment

Temperature °C	Aging tests	
	Time h	Tensile strength %
180	100	80
180	200	65
180	300	45
180	400	30
165	500	85
165	1 000	70
165	1 500	53
165	2 000	40
150	2 000	90
150	4 000	72
150	6 000	55
150	8 000	42

With this aging data, the time temperature plots for the candidate can then be obtained. Figure C.1 shows the plot for the above example for 165 °C.

**Figure C.1 – Example of aging result at a temperature of 165 °C**

Finally, using the equation generated from the aging experiment for each temperature, the hours to reach the targeted end-of-life criteria determined from the Reference EIS test (43,01 % from the example in Table C.1). The value calculated for the 165 °C example from Figure C.1 is 1 880,2 h. With the complete set of test data, three times are calculated from the aging data in Table C.2. These can then be plotted as shown in Figure C.2.

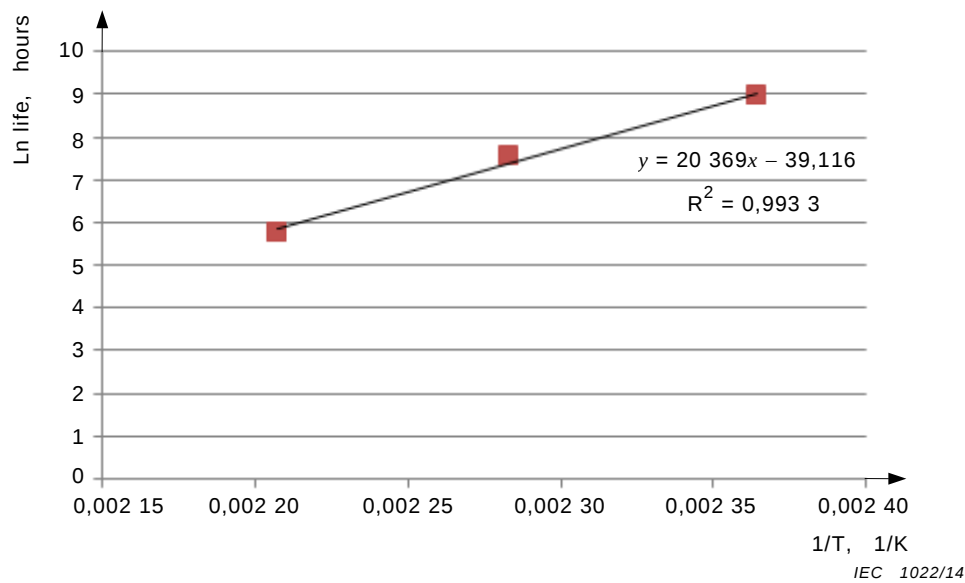


Figure C.2 – Aging life curve

The life equation can then be used to calculate the EIS RTE. For this example, the candidate insulation system is rated for 142,5 °C for 20 000 h. This would then exceed the thermal class of 140 °C, but not meet the thermal class of 155 °C, so this candidate EIS would be assigned a thermal class of 140 °C.

Bibliography

IEC 60076-6, *Power transformers – Part 6: Reactors*

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

IEC 60076-14, *Power transformers – Part 14: Design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials*

IEC 60641-2, *Pressboard and press paper for electrical purposes – Part 2: Methods of tests*

IEC 61857-1:2008, *Electrical insulation systems – Procedures for thermal evaluation – Part 1: General requirements – Low voltage*

IEEE Standard 1276-1998, *IEEE Guide for Application of High-Temperature Insulation Materials in Liquid-Immersed Power Transformers*

ASTM D2307, *Standard Test Method for Thermal Endurance of Film-Insulated Round Magnet Wire*

McNUTT, W.J., PROVOST, R.L. WHEARTY, R.J., *Thermal life evaluation of high temperature insulation systems and hybrid insulation systems in mineral oil*, IEEE Paper 96WM 21-2 PWRD, IEEE PES Winter Power Meeting, 1996

NEMA MW1000, *Magnet Wire*

WICKS, R., BATES, L., MAREK, R., PREVOST, T., *Dual-Temperature Model Aging of Insulation Systems for Liquid-Immersed Transformers*, 76th Annual International Doble Client Conference, April 2009

WICKS, R., *Insulation Systems for Liquid-Immersed Transformers – New Materials Require New Methods for Evaluation*, Proceedings Electrical Insulation Conference pp348-358, June 2009

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	28
INTRODUCTION.....	30
1 Domaine d'application	31
2 Références normatives	31
3 Termes et définitions	33
4 Appareillage d'essai pour le vieillissement thermique	34
4.1 Description générale	34
4.2 Tubes scellés.....	34
4.3 Système de coussins de gaz.....	35
4.4 Système de surpression.....	35
4.5 Étuves de vieillissement.....	36
5 Construction de l'éprouvette	36
5.1 Généralités	36
5.2 Détermination des masses des composants.....	36
5.3 Éprouvette	37
5.3.1 Isolation des conducteurs	37
5.3.2 Autres composants d'isolation solide	37
5.3.3 Composant liquide	37
5.3.4 Composants structurels	38
5.3.5 Autres composants	38
6 Procédures d'essai	38
6.1 Généralités	38
6.2 Préparation des éprouvettes	38
6.2.1 Généralités.....	38
6.2.2 Éprouvette de référence	39
6.2.3 Éprouvette candidate.....	40
6.3 Essais de diagnostic	40
6.3.1 Généralités.....	40
6.3.2 Isolation solide	41
6.3.3 Isolation liquide	41
6.4 Essai de fin de vie	41
6.5 Essai simplifié en un point	42
7 Analyse des données	42
7.1 Critères de fin de vie.....	42
7.1.1 Généralités.....	42
7.1.2 Fin de vie du composant solide.....	42
7.1.3 Extrapolation des données	42
7.2 Rapport.....	42
Annexe A (informative) Prise en compte des rapports de masse	44
A.1 Exemples de transformateurs conduisant aux rapports de masse réels donnés dans le Tableau A.1.....	44
A.2 Calcul des rapports de surface de circuit magnétique	44
A.3 Calcul des composants de cuivre pour essai.....	45
A.3.1 Échantillons de fils émaillés.....	45

A.3.2 Échantillons de cuivre nu	45
Annexe B (informative) Prise en compte de la durée et de la température de vieillissement.....	46
Annexe C (informative) Exemple de vieillissement	47
C.1 Essai du système de référence	47
C.2 Essai du système candidat.....	47
Bibliographie.....	50
Figure 1 – Exemple de tube scellé	35
Figure B.1 – Système SIE de référence	46
Figure C.1 – Exemple de résultat de vieillissement pour une température de 165 °C	48
Figure C.2 – Courbe de durée de vie de vieillissement.....	49
Tableau 1 – Calculs du rapport des masses des composants de référence	36
Tableau 2 – Conditions de vieillissement du SIE de référence et températures de vieillissement du SIE candidat	39
Tableau 3 – Températures et périodes de vieillissement recommandées pour la classe thermique attendue	40
Tableau A.1 – Exemples obtenus à partir de sources industrielles	44
Tableau A.2 – Exemples de calculs des rapports de volume des composants	45
Tableau C.1 – Calcul des critères de fin de vie pour une évaluation comparative	47
Tableau C.2 – Exemple d'expérience de vieillissement	48

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE (SIE) – ÉVALUATION THERMIQUE DE COMPOSANTS LIQUIDES ET SOLIDES COMBINÉS –

Partie 2: Essai simplifié

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 tâche principale des comités d'études de l'IEC est l'élaboration des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'une spécification technique

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou quand, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat.

Les spécifications techniques font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

L'IEC TS 62332-2, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 112 de l'IEC: Évaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique.

Le texte de cette spécification technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
112/256/DTS	112/268/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62332, publiées sous le titre général *Systèmes d'isolation électrique (SIE) – Évaluation thermique de composants liquides et solides combinés*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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 à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- transformée en Norme internationale,
- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

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

La présente spécification technique décrit une méthode pour l'évaluation thermique des systèmes d'isolation électrique (SIE) pour les produits électrotechniques avec des composants liquides et solides combinés. Plus spécifiquement, la présente partie traite des transformateurs de puissance immergés dans un liquide. La Partie 1 couvre les exigences générales d'essai. La présente partie 2 couvre une méthode d'essai simplifiée qui peut être utilisée comme essai de sélection avant d'effectuer les essais décrits à la Partie 1, ou elle peut être utilisée pour déterminer une classification thermique d'un SIE. Cette méthode peut également être utilisée comme essai de contrôle qualité afin d'évaluer les changements de produits mineurs.

La présente spécification fournit une méthode d'essai normalisée pour l'essai à tube scellé. Il convient que le tube scellé contienne tous les éléments principaux du SIE, et dans des rapports de composants relatifs qui reproduisent les transformateurs de puissance réels immergés dans un liquide.

La présente spécification technique a été établie conjointement avec le comité d'études 14, Transformateurs de puissance et le comité d'études 10, Fluides pour applications électrotechniques, de l'IEC. Tous les commentaires ou suggestions d'autres comités d'études pour rendre la présente spécification technique plus générale sont les bienvenus.

SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE (SIE) – ÉVALUATION THERMIQUE DE COMPOSANTS LIQUIDES ET SOLIDES COMBINES –

Partie 2: Essai simplifié

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC TS 62332, qui est une spécification technique, est applicable aux SIE contenant des composants solides et liquides, où la contrainte thermique est le facteur de vieillissement prédominant, sans restriction de la classe de tension.

La présente partie indique une procédure d'essai à tube scellé pour l'évaluation et la qualification thermiques des systèmes d'isolation électrique (SIE). Un aspect de cette procédure est également de fournir une méthode d'attribution de classifications thermiques aux matériaux utilisés dans les SIE qui utilisent tant des composants solides que des composants liquides. Cette procédure décrit une méthode de vieillissement comparative où un système de référence composé de papier kraft et d'huile minérale est comparé à un système candidat de toute combinaison de composant solide et de liquide isolant. Les procédures d'essai décrites dans la présente partie s'appliquent spécifiquement aux systèmes d'isolation à transformateurs de puissance immergés dans un liquide.

Il convient que des procédures similaires s'appliquent également à d'autres dispositifs électrotechniques avec une combinaison de composants liquides et solides, tels que des traversées, des câbles ou des condensateurs, mais ceci sera ajouté sous forme de parties supplémentaires une fois une certaine expérience acquise par l'utilisation de la présente spécification technique.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 60085, *Isolation électrique – Évaluation et désignation thermiques*

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

IEC 60216-2:2005, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 2: Détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques – Choix de critères d'essai*

IEC 60216-3, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques 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 60216-5, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant*

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

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

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

IEC 60317 (toutes les parties), *Spécifications pour types particuliers de fils de bobinage*

IEC 60450, *Mesure du degré de polymérisation moyen viscosimétrique des matériaux isolants celluloseux neufs et vieillis à usage électrique*

IEC 60505:2011, *Évaluation et qualification des systèmes d'isolation électrique*

IEC 60554-2, *Papiers celluloseux à usages électriques – Partie 2: Méthodes d'essai*

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

IEC 60599, *Matériels électriques imprégnés d'huile minérale en service – Guide pour l'interprétation de l'analyse des gaz dissous et des gaz libres*

IEC 60763-2, *Spécification pour cartons comprimés et contrecollés – Partie 2: Méthodes d'essai*

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

IEC 60851-5, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai – Partie 5: Propriétés électriques*

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

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

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

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

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

IEC TS 62332-1:2011, *Systèmes d'isolation électrique (SIE) – Évaluation thermique de composants liquides et solides combinés – Partie 1: Exigences générales*

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

ISO 2211, *Produits chimiques liquides – Détermination de la coloration en unités Hazen (échelle platine-cobalt)*

ASTM D971, *Standard Test Method for Interfacial Tension Of Oil Against Water By The Ring Method*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions, dont certains sont extraits de l'IEC 60505, ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1

système d'isolation électrique

SIE

structure isolante, comprenant un ou plusieurs matériaux isolants électriques (MIE) avec les parties conductrices associées, utilisée dans un dispositif électrotechnique

Note 1 à l'article: Des MIE avec différents indices de température (ATE RTE conformément à l'IEC 60216-5) peuvent être combinés pour former un SIE, qui a une classe thermique qui peut être supérieure ou inférieure à celle de n'importe lequel des différents composants, conformément à l'IEC 60505.

[SOURCE: IEC 60505:2011, 3.1.1 – modifiée, la Note 1 à l'article a été ajoutée]

3.2

SIE candidat

SIE en cours d'évaluation pour déterminer son aptitude (thermique) en service

3.3

SIE de référence

SIE évalué et reconnu, soit sur la base d'une expérience en service connue et enregistrée, soit sur la base d'une évaluation fonctionnelle comparative connue

3.4

classe thermique

désignation d'un SIE qui est égale à la valeur numérique de la température maximale, en degrés Celsius, pour laquelle le SIE est approprié, conformément à l'IEC 60085

Note 1 à l'article: Le SIE peut être soumis aux températures de fonctionnement excédant sa classe thermique, ce qui peut avoir comme conséquence une durée de vie prévue plus courte.

3.5

indice d'endurance thermique évaluée d'un SIE

ATE SIE

valeur numérique de la température, en degrés Celsius, pour le SIE de référence, déduite d'une expérience en service connue ou d'une évaluation fonctionnelle comparative connue

Note 1 à l'article: L'abréviation «ATE» est dérivée du terme anglais développé correspondant «assessed thermal endurance».

3.6

indice d'endurance thermique relative d'un SIE

RTE SIE

valeur numérique de la température, en degrés Celsius, pour le SIE candidat, relativement à l'endurance thermique évaluée connue d'un SIE de référence, lorsque les deux SIE sont soumis aux mêmes procédures de vieillissement et de diagnostic lors d'un essai comparatif

Note 1 à l'article: L'abréviation «RTE» est dérivée du terme anglais développé correspondant «relative thermal endurance».

3.7

échantillon

échantillon ou partie du matériel d'origine, ou modèle représentant le matériel complètement ou partiellement, y compris le SIE, destiné à être utilisé dans un essai de fonctionnement

3.8**facteur de vieillissement thermique**

contrainte thermique provoquant des modifications irréversibles du SIE

3.9**essai de diagnostic**

application périodique d'un niveau spécifié d'un facteur de diagnostic à une éprouvette, pour déterminer si le critère de fin de vie a été atteint

3.10**critère de fin de vie**

valeur choisie pour une propriété ou pour la modification d'une propriété définissant la fin de vie d'un composant

[SOURCE: IEC 61857-1:2008, 3.11, modifiée – "vie d'un composant" remplace "éprouvette" dans un essai de fonctionnement]

3.11**fin de vie**

fin de la durée de vie d'une éprouvette, telle que déterminée par tout composant choisi répondant à son critère de fin de vie

3.12**tube scellé**

réceptacle scellé partiellement rempli de MIE liquides et qui comporte les MIE solides dans des rapports de composants relatifs qui reproduisent le dispositif électrotechnique réel

3.13**valeur d'intervalle de division par deux**

IDC

valeur numérique de l'intervalle de température, en Kelvin, qui exprime la division par deux du temps jusqu'au point limite, pris à la température égale à l'indice de température

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-12-13, modifiée – "égale à l'indice de température" remplace le texte original "correspondant à l'indice de température ou à l'indice relatif de température"]

4 Appareillage d'essai pour le vieillissement thermique**4.1 Description générale**

L'appareillage d'essai pour le vieillissement thermique doit être conçu pour permettre le vieillissement de composants solides et liquides. Les SIE de référence et candidat doivent être exposés à des périodes d'essai aux températures élevées choisies. Ces périodes d'essai se composent d'un temps d'exposition spécifique à la température choisie, suivi d'essais de diagnostic. Le système d'essai se compose des éléments suivants:

- tubes scellés
- étuves de vieillissement
- éprouvettes.

4.2 Tubes scellés

Chaque tube scellé est un réceptacle construit en acier inoxydable ou en d'autres matériaux adaptés tels que du verre, dont la taille est à déterminer en fonction de la taille des éprouvettes. De plus, le matériau utilisé pour le tube ne doit pas affecter le vieillissement (tel que le verre ou l'acier inoxydable) ou des tubes de construction identique doivent être utilisés pour toutes les séries d'expériences. Le volume de la cellule doit prendre en considération

l'espace exigé pour l'expansion thermique du liquide aux températures de vieillissement, ainsi que l'espace nécessaire aux MIE à évaluer. Il convient que les MIE à évaluer soient complètement immergés dans le liquide pendant toute la période d'essai. Une extrémité ou les deux extrémités de la cellule doivent être équipées de couvercles amovibles et fixés par des vis.

Des accès doivent être prévus pour

- le prélèvement d'échantillons du liquide,
- le système de coussins de gaz et le système de surpression associé.

Pour un exemple, voir la Figure 1.

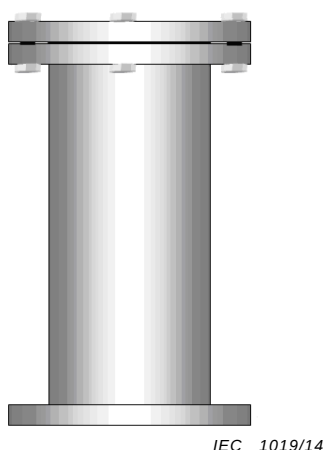


Figure 1 – Exemple de tube scellé

4.3 Système de coussins de gaz

Un système de coussins de gaz doit être prévu, qui simule le système d'isolation utilisé dans le transformateur évalué. Il peut s'agir d'un système à gaz scellé, qui maintient un coussin de gaz sur le liquide dans la cellule afin de réduire son oxydation. Dans chaque cas, le coussin de gaz dans chaque cellule doit être régulé pour maintenir une pression positive comme décrit ci-dessous en 4.4.

Les systèmes de préservation de liquides à respiration libre ne sont pas inclus en raison du danger relatif à la sécurité associé à l'essai des liquides à des températures supérieures à leurs points d'éclair où une quantité d'oxygène supplémentaire est disponible. Dans le cas d'un essai en milieu scellé, la quantité d'oxygène disponible est limitée.

NOTE L'oxygène est connu pour accroître le vieillissement des systèmes d'isolation, et de ce fait, un essai réalisé dans l'air est censé être effectué dans des conditions plus strictes qu'un essai réalisé en milieu scellé à l'azote.

4.4 Système de surpression

Une valve de surpression doit être installée sur chaque cellule, pour empêcher que la pression interne des cellules ne dépasse les capacités du tube scellé. De plus, il convient que l'essai simule l'application finale soumise à évaluation. À titre d'exemple, pour les applications de transformateurs immergés dans du liquide, les cuves de transformateurs sont conçues pour fonctionner à une pression maximale de 150 kPa. Il convient que l'évaluation technique adaptée à cette conception utilise une méthode (telle qu'une valve de surpression) de contrôle de la pression dans les cellules à un niveau conforme à l'application finale évaluée. Sauf spécification contraire, choisir un niveau de 150 kPa pour cette pression d'essai.

Le contrôle de pression a deux fonctions. La première est une fonction de sécurité, et la seconde fonction consiste à contrôler la pression à un niveau cohérent faible en vue d'une meilleure modélisation de l'application de transformateur réelle. Ce contrôle de la pression peut être effectué en utilisant une valve de surpression correspondant à celle utilisée sur le transformateur pour lequel l'évaluation est réalisée, ou au moyen d'un soufflet d'expansion qui permet d'accroître la lame d'air de la cellule d'essai sans augmentation de la pression.

4.5 Étuves de vieillissement

Les étuves de vieillissement utilisées doivent satisfaire aux exigences de l'IEC 60216-4-1.

5 Construction de l'éprouvette

5.1 Généralités

L'éprouvette est conçue pour modéliser la partie SIE du transformateur en cours d'évaluation, et se compose généralement des éléments suivants:

- une isolation des conducteurs;
- d'autres composants d'isolation solide;
- des composants structurels;
- des matériaux métalliques (généralement, du cuivre ou de l'aluminium et de l'acier),
- un liquide isolant;
- d'autres composants du système candidat s'ils diffèrent du système de référence et s'ils affectent raisonnablement le résultat de l'essai.

5.2 Détermination des masses des composants

Un élément important réside dans le fait que les rapports des masses de composants utilisés pour construire l'éprouvette doivent être représentatifs du transformateur candidat modélisé. Déterminer le pourcentage de chaque composant individuel comme une partie de la masse totale. Les pourcentages doivent être utilisés pour déterminer la masse de ces composants individuels à utiliser dans la construction de l'éprouvette. Dans une famille de produits utilisant le même SIE spécifique, il convient que le rapport de la masse des composants individuels à la masse totale soit semblable. Les autres composants qui affectent le vieillissement fondé sur la surface sont inclus sur cette base.

Le Tableau 1 fournit les masses et les dimensions des composants à utiliser dans l'essai de référence. Ce tableau est basé sur le rapport des matériaux en supposant une masse de 100 g de composants solides pour chaque type de SIE. Chaque élément contenu dans ce tableau est décrit plus en détail dans les articles qui suivent ce même tableau. Il convient de choisir la référence la plus appropriée au système candidat en essai.

Tableau 1 – Calculs du rapport des masses des composants de référence

Descriptions du matériau d'essai	Type de transformateur		
	Distribution	Puissance – A noyau	Puissance – Cuirassé
Liquide isolant	1 330 g	760 g	330 g
Isolation des conducteurs		10 g	10 g
Isolation de couche	50 g		
Carton comprimé à faible densité	50 g	10 g	80 g
Carton comprimé à densité élevée		80 g	10 g
Rapport – Composants liquides sur composants solides	13,3 à 1	7,6 à 1	3,3 à 1
Surface du circuit magnétique	9,6 cm ²	9,6 cm ²	9,6 cm ²

Descriptions du matériau d'essai	Type de transformateur		
	Distribution	Puissance – A noyau	Puissance – Cuirassé
Échantillons métalliques émaillés	5 échantillons	5 échantillons	5 échantillons
Surface du cuivre	9,6 cm ²	9,6 cm ²	9,6 cm ²

Outre les rapports des composants d'isolation solides et liquides présentés dans le Tableau 1, il convient également d'inclure d'autres matériaux tels que décrits en 5.3.4 et 5.3.5. Ces matériaux ne sont toutefois pas inclus ici pour des raisons de simplicité. Les échantillons métalliques émaillés sont décrits à l'Annexe A.

5.3 Éprouvette

5.3.1 Isolation des conducteurs

Selon le type de transformateur, les conducteurs peuvent être des fils ronds de petites dimensions ou des fils rectangulaires ou des feuilles métalliques de plus grandes dimensions. L'isolation pour chacun de ces conducteurs peut être différente. L'isolation peut prendre la forme d'un revêtement en émail, de conducteurs enroulés avec des matériaux isolants minces, ou dans le cas des feuilles métalliques, de papiers/films plus épais, parfois avec des revêtements adhésifs.

Il convient de soumettre à essai l'isolation des conducteurs de manière à pouvoir estimer la capacité thermique attendue du matériau combiné à un fluide. Pour les matériaux d'isolation à fils minces, les éprouvettes peuvent être des bandes de traction prédécoupées. Il convient d'inclure au minimum 20 éprouvettes par cellule de vieillissement. Pour les fils ronds émaillés, des paires de fils torsadés ne peuvent être soumises à un essai de vieillissement, de nouveau avec au minimum 20 éprouvettes par cellule de vieillissement. Pour des applications telles que des transformateurs de distribution, les papiers ou les films à couche plus épaisse utilisés avec des feuilles métalliques, peuvent être évalués selon la même méthode que les matériaux d'isolation à fils minces.

Pour les papiers/films avec revêtements adhésifs, il convient d'effectuer un essai séparé destiné à évaluer la caractéristique technique de l'adhésif. Le mode de défaillance propre à cet essai peut être la rétention de la résistance d'adhésion de l'adhésif plutôt qu'un essai de rétention de la traction de l'isolation principale par papiers/films.

Inclure le même rapport de surface exposée du métal de conducteur (cuivre ou aluminium) que dans le cas du transformateur évalué pour les conducteurs enroulés avec des papiers/films.

5.3.2 Autres composants d'isolation solide

D'autres matériaux solides sont généralement utilisés dans les transformateurs. Ces composants incluent les produits de carton comprimé adjacents aux conducteurs (matériaux d'espacement), et en tant que tels subissent les mêmes températures extrêmes que l'isolation des conducteurs ou les autres matériaux utilisés dans les parties plus froides du transformateur (telles que les cylindres ou les barrières de confinement d'huile). Dans d'autres types de transformateur, les conducteurs isolés peuvent être séparés par des papiers isolants qui de nouveau subissent les mêmes températures extrêmes que l'isolation des conducteurs. Il convient d'inclure chacun de ces matériaux dans le rapport correct tel que décrit en 5.2.

5.3.3 Composant liquide

La cellule doit être remplie du composant liquide utilisé dans le transformateur évalué. La masse du liquide doit être déterminée en fonction des exigences de 5.2, sur la base des

calculs de masse et de température. On doit veiller à laisser un espace suffisant d'expansion du liquide dans la cellule à des températures élevées.

5.3.4 Composants structurels

D'autres matériaux sont utilisés dans le transformateur et sont uniquement à "usage mécanique". Ils n'ont aucun effet direct sur les performances électriques du système d'isolation, mais s'ils sont défectueux dans l'application, ils peuvent détériorer le système d'isolation. Les exemples de ce type de composants incluent, sans toutefois s'y limiter, les lacets, rubans pour filets, rubans adhésifs, etc. Nombre de ces composants sont des auxiliaires de fabrication, et de ce fait un dysfonctionnement en service ne constitue pas un problème de conception, tant que les composants se détériorent d'une manière qui n'affecte pas les autres matériaux (compatibilité chimique) ou les paramètres de conception, par exemple, refroidissement de blocs.

Ces matériaux peuvent être inclus dans l'essai conforme à 5.2.

NOTE Aucune méthode permettant d'évaluer l'addition de ces matériaux dans l'éprouvette n'a à ce jour été développée. Une fois acquise une certaine expérience avec la présente spécification d'essai, une méthode d'évaluation de ces matériaux sera ajoutée.

5.3.5 Autres composants

Pour les produits simulés, des composants représentatifs non inclus dans le SIE, mais pouvant l'affecter, doivent être inclus. On peut citer par exemple les parties de circuit magnétique, les matériaux soutenant les câbles de sortie, les revêtements et les matériaux de soudure et d'enveloppe. Il convient que les masses relatives de ces composants correspondent à celles du produit évalué, à l'exception du circuit magnétique et des matériaux de cuve. La quantité relative de circuit magnétique et de matériau de cuve doit être déterminée en se basant sur la surface exposée au composant liquide. Un exemple est donné à l'Annexe A. Le circuit magnétique est considéré comme étant une surface plutôt qu'un rapport de masse dans la mesure où seule la surface peut affecter le vieillissement du système d'isolation.

Outre le circuit magnétique, ces matériaux peuvent être inclus dans l'essai conforme à 5.2.

NOTE Aucune méthode permettant d'évaluer l'addition de ces matériaux dans l'éprouvette n'a à ce jour été développée. Une fois acquise une certaine expérience avec la présente spécification d'essai, une méthode d'évaluation de ces matériaux sera ajoutée.

6 Procédures d'essai

6.1 Généralités

Un essai de vieillissement à trois températures doit être réalisé pour établir les caractéristiques assignées thermiques du nouveau système. Un SIE de référence doit être utilisé pour valider les essais du SIE candidat. Sauf stipulation contraire du comité d'études de l'équipement, le système de référence doit être une isolation solide cellulosique et de l'huile minérale.

NOTE Pour les transformateurs qui comportent des fils émaillés, les fils émaillés à évaluer comme partie intégrante du SIE de référence se présentent sous la forme du PVF (polyformal de vinyle) décrit dans l'IEC 60317.

6.2 Préparation des éprouvettes

6.2.1 Généralités

Il convient que la quantité d'échantillons d'isolation solide et liquide soit suffisante pour fournir l'ensemble des éprouvettes de référence et candidates, ainsi que les exigences pour les essais de diagnostic.

Tous les échantillons solides doivent être préconditionnés par séchage. Un séchage à des températures inférieures dure plus longtemps qu'un séchage à des températures élevées, mais empêche toute détérioration de l'isolation avant l'expérience de vieillissement. Pour des conditions de séchage optimales, se référer aux normes applicables sur les essais des matériaux. La teneur en humidité des matériaux d'isolation solide doit être comprise entre 0,25 % et 0,50 % au début du vieillissement.

Immédiatement après le séchage, les matériaux des conducteurs, les autres matériaux solides et tous les matériaux supplémentaires doivent être imprégnés sous vide avec le liquide à évaluer. Le processus d'imprégnation est conduit pendant 6 h à 24 h, à une température comprise entre 70 °C et 90 °C.

Avant d'insérer les éprouvettes dans la cellule de vieillissement, enlever les échantillons solides et liquides préconditionnés nécessaires aux essais de diagnostic. Vérifier la teneur en humidité initiale à l'issue du processus d'imprégnation pour déterminer si les matériaux sont séchés correctement ou non avant le démarrage.

Une cellule de vieillissement propre et sèche est alors remplie de la masse de liquide précédemment déterminée, et les composants solides imprégnés sont insérés. La cellule est rapidement scellée, puis purgée avec un gaz d'étanchéité sec.

Après son assemblage, la cellule de vieillissement est placée dans une étuve de vieillissement. La température de l'étuve est ensuite portée à la température de vieillissement.

6.2.2 Éprouvette de référence

Le SIE de référence doit être composé de matériaux solides et de liquide dont le comportement, en combinaison, est établi. Au moment de la publication de la présente spécification technique, le seul SIE de référence établi est composé de matériaux solides celluloses et d'huile minérale. L'ATE SIE de ce système de référence est reconnu pour être de 105 °C. Cependant, si le comité d'études de l'équipement a établi un autre SIE avec une performance connue, cette performance peut être utilisée comme SIE de référence. Il convient que le comité d'études de l'équipement fournisse les détails spécifiques:

- conducteur avec isolation de cellulose kraft (échantillons décrits en 5.3.1);
- huile minérale non inhibée conformément à l'IEC 60296.

Pour la vérification du vieillissement du SIE de référence, un simple jeu de trois éprouvettes composées du SIE de référence doit être évalué avec les éprouvettes candidates. Pour le système cellulose et huile minérale du SIE de référence, les températures de vieillissement doivent être comme indiqué ci-dessous.

Les essais doivent être effectués avec trois températures pour le SIE de référence comme indiqué dans le Tableau 2 ci-dessous. Évaluer le pourcentage de résistance à la traction des trois jeux et calculer la moyenne de ce pourcentage pour les critères de fin de vie propres au système candidat. La durée de vieillissement pour le SIE de référence est basée sur une durée de vie de 20 000 h à l'ATE (de 105 °C) avec une valeur IDC de 6 K.

Tableau 2 – Conditions de vieillissement du SIE de référence et températures de vieillissement du SIE candidat

Système d'isolation	Augmentation attendue des caractéristiques assignées thermiques °C	Durée de vieillissement 3 536 h °C	Durée de vieillissement 2: 625 h °C	Durée de vieillissement 3: 110 h °C
SIE de référence		130	145	160
SIE candidat	10	140	155	170

Système d'isolation	Augmentation attendue des caractéristiques assignées thermiques °C	Durée de vieillissement 3 536 h °C	Durée de vieillissement 2: 625 h °C	Durée de vieillissement 3: 110 h °C
	20	150	165	180
	30	160	175	190
	40	170	185	200
	50	180	195	210
	60	190	205	220

La valeur attendue du SIE de référence aux durées et températures susmentionnées correspond à une résistance à la traction de 25 %. Pour la rigidité diélectrique d'un fil émaillé, la valeur attendue correspond à une rigidité diélectrique retenue de 80 %. Dans chaque cas, la rétention des propriétés du SIE de référence détermine les critères de fin de vie du SIE candidat. Sauf raison valable de réalisation d'un essai de fin de vie différent (autre que la résistance à la traction pour une isolation solide et la rigidité diélectrique pour les revêtements en émail/métalliques), il convient de choisir ces critères.

6.2.3 Éprouvette candidate

Quatre cellules de vieillissement au moins doivent être utilisées pour le système candidat pour chaque température d'essai. Une cellule au moins doit présenter des résultats de vieillissement qui dépassent les critères de fin de vie déterminés à partir des essais du SIE de référence pour chaque température d'essai.

Choisir les températures de vieillissement pour le SIE candidat, sur la base de la classe thermique attendue issue de l'IEC 60085, énumérées ci-dessous dans le Tableau 3. Les quatre durées de périodes de vieillissement sont définies pour chaque température de vieillissement.

Tableau 3 – Températures et périodes de vieillissement recommandées pour la classe thermique attendue

Durée de la période de vieillissement h	Classe thermique attendue								
	90 °C	105 °C	120 °C	130 °C	140 °C	155 °C	180 °C	200 °C	220 °C
2 000/4 000/6 000/8 000	110	125	140	150	160	175	200	220	240
500/1 000/1 500/2 000	125	140	155	165	175	190	215	235	255
100/200/300/400	140	155	170	180	190	205	230	250	270

La forme physique, la taille et la construction des éprouvettes des systèmes de référence et candidat doivent être semblables, en remplaçant un ou plusieurs des matériaux solides et/ou du liquide par les matériaux candidats à évaluer.

6.3 Essais de diagnostic

6.3.1 Généralités

Les échantillons d'isolation solide doivent être soumis à essai avant le démarrage et après l'arrêt de chaque cellule. Les propriétés électriques ou physiques de l'isolation solide doivent être mesurées selon les critères de fin de vie choisis. Les changements entre les états initiaux et finaux doivent être utilisés pour déterminer le niveau de dégradation se produisant pendant le cycle d'essai.

6.3.2 Isolation solide

Au démarrage, les échantillons d'isolation solide préconditionnés selon 6.2 doivent être soumis aux essais en utilisant un ou plusieurs essais de diagnostic pour déterminer la fin de vie. Des essais complémentaires peuvent être utilisés à des fins de surveillance. Dans certains cas, il existe plusieurs méthodes pour les essais de diagnostic. Il est important d'utiliser la même méthode d'essai pour les SIE de référence et candidat. Les exemples d'essais de diagnostic types sur des matériaux solides sont les suivants:

Caractéristiques	Spécification d'essai
Rigidité diélectrique dans l'huile:	IEC 60243-1
Rigidité diélectrique du fil de bobinage:	IEC 60851-5
Résistance à la traction:	IEC 60554-2
Résistance à la compression:	IEC 60763-2
Degré de polymérisation (cellulose):	IEC 60450

L'isolation solide inclut les fils émaillés. La plupart des méthodes d'essai ci-dessus ne conviennent pas aux fils émaillés. Dans ce type de cas, la caractéristique clé pour surveiller les fils émaillés est la rétention de la rigidité diélectrique. Il n'existe que des expériences limitées basées sur l'utilisation de tels fils revêtus avec cette méthode d'essai.

6.3.3 Isolation liquide

Au démarrage, l'isolation liquide préconditionnée selon 6.2 doit être soumise aux essais en utilisant un ou plusieurs essais de diagnostic pour caractérisation. Il est important d'utiliser la même méthode d'essai pour les SIE de référence et candidat. Les exemples d'essais de diagnostic types sur des liquides sont les suivants:

Caractéristique	Spécification d'essai
Couleur et aspect:	ISO 2049 ou ISO 2211
Tension de claquage:	IEC 60156
Tension interfaciale:	ASTM D971
Acidité:	IEC 62021-1, IEC 62021-2, ou IEC 62021-3
Facteur de dissipation diélectrique (FDD)	IEC 60247 ou IEC 61620
Teneur en humidité:	IEC 60814
Gaz dissous:	IEC 60567 et IEC 60599
Concentrations de composés furanniques dans l'huile:	IEC 61198

NOTE Les concentrations de composés furanniques tels que le 2-furfural sont utiles comme mesure de la dégradation de la cellulose soumise à essai dans l'huile.

6.4 Essai de fin de vie

L'essai de diagnostic des échantillons solides doit être choisi selon 6.3, par exemple, parmi les propriétés suivantes:

- résistance à la traction;
- résistance à la compression;
- degré de polymérisation;
- rigidité diélectrique du solide;
- rigidité diélectrique des fils émaillés.

Les critères de fin de vie peuvent être établis pour chaque essai de diagnostic avec une justification appropriée telle que présentée à l'Article 7.

6.5 Essai simplifié en un point

Un vieillissement simplifié en un point peut également être réalisé à des fins de contrôle qualité, de changements de produits mineurs ou de sélection préalablement à une évaluation complète en trois points. La procédure serait semblable à celle décrite pour le vieillissement en trois points, toutefois, dans ce cas, la comparaison avec le SIE de référence est effectuée à la température médiane de l'essai du SIE de référence.

Alors qu'un indice thermique complet peut ne pas être déterminé sur la base d'un essai en un point de ce type, cet essai peut servir à appréhender la capacité attendue d'un SIE candidat proposé sans la durée et les efforts nécessaires à la réalisation d'une évaluation complète.

7 Analyse des données

7.1 Critères de fin de vie

7.1.1 Généralités

Les critères selon lesquels une éprouvette est considérée défailante doivent être entièrement définis avant le début de l'essai. Un essai adéquat doit être inclus dans la période d'essai pour détecter le moment où une défaillance se produit, indiquant ainsi la fin de vie pour chaque éprouvette. L'utilisation de plus d'un critère de fin de vie aura tendance à rendre l'interprétation des résultats d'essai plus difficile. Il est recommandé qu'un seul critère de fin de vie soit utilisé pour chaque composant de l'éprouvette (solide/liquide).

7.1.2 Fin de vie du composant solide

Le critère de fin de vie préférentiel pour l'isolation solide doit être la dégradation de la valeur d'origine de la propriété mécanique choisie en 6.4 ou de la valeur correspondante du degré de polymérisation dans le cas du papier. D'autres choix pour le critère de fin de vie sont décrits dans le Tableau 1 de l'IEC 60216-2:2005. La valeur de fin de vie pour le SIE candidat doit être déterminée sur la base de l'essai du même composant dans le SIE de référence.

NOTE 1 Ceci peut ne pas être valable pour les autres matériaux, par exemple, les fils émaillés, pour lesquels les critères de fin de vie sont censés représenter une rétention de 80 % de la rigidité diélectrique. Dans la mesure où l'expérience acquise avec cette méthode et avec les fils émaillés est limitée, ce chiffre peut être à considérer avec prudence, et peut être modifié avec l'expérience.

Le nombre total d'heures pour atteindre la fin de vie doit être enregistré pour le composant solide dans l'éprouvette à chaque température de vieillissement. La durée de vie (en heures) à chaque température de vieillissement doit être calculée conformément à l'IEC 60216-3.

7.1.3 Extrapolation des données

L'analyse de régression linéaire sur les données du composant solide doit être effectuée conformément à l'IEC 60216-5. L'interprétation de l'analyse sera incluse conformément à l'IEC 60505.

7.2 Rapport

Le rapport doit inclure tous les enregistrements, les détails appropriés de l'essai et l'analyse, y compris

- une référence à la présente spécification technique,
- la description du SIE soumis aux essais (SIE de référence et SIE candidat),
- les températures de vieillissement et les périodes de vieillissement de chaque SIE,
- le gaz et la pression d'étanchéité utilisés pour l'évaluation,
- les essais de diagnostic et le critère de fin de vie utilisés pour chaque SIE,
- la description détaillée des éprouvettes (incluant les rapports de masse),

- le nombre d'éprouvettes à chaque température pour chaque SIE,
- les temps individuels de fin de vie pour chaque composant,
- la durée de vie moyenne (échelle logarithmique) pour chaque température de vieillissement et pour chaque SIE.

Les essais de vieillissement en points multiples doivent aussi inclure

- la droite de régression avec les points moyens (échelle logarithmique), pour le composant solide,
- l'équation de régression et le coefficient de corrélation, pour le composant solide,
- l'endurance thermique évaluée du SIE et/ou la classe thermique du composant solide du SIE de référence,
- l'endurance thermique relative du SIE et la classe thermique attribuée du composant solide du SIE candidat.

Annexe A (informative)

Prise en compte des rapports de masse

A.1 Exemples de transformateurs conduisant aux rapports de masse réels donnés dans le Tableau A.1

Tableau A.1 – Exemples obtenus à partir de sources industrielles

Transformateurs de distribution		Transformateurs de puissance – A noyau		Transformateurs de puissance – Cuirassés	
Exemple	Rapport huile/ composant solide	Exemple	Rapport huile/ composant solide	Exemple	Rapport huile/ composant solide
Distribution	10,0	Grande puissance	6,1	Grande puissance	3,3
2 500 kVA	10,5	50 MVA	6,2		
100 kVA	12,2	508 MVA	7,0		
1 600 kVA	12,6	20 MVA	7,5		
NEMA MW 1000 Std.	13,3	IEC 62332-1	7,6		
25 kVA	13,6	450 MVA	8,0		
630 kVA	14,2	40 MVA	8,0		
1 000 kVA	15,0	290 MVA	9,0		

La liste susmentionnée de transformateurs contient les exemples obtenus à partir de sources industrielles. Les valeurs en caractère gras représentent les valeurs utilisées pour constituer le Tableau 1 en 5.2. Les valeurs en caractère gras sont proches de la moyenne des valeurs à partir desquelles elles sont énumérées et sont également proches de la valeur médiane. De plus, ces valeurs sont également déjà utilisées dans d'autres méthodes d'essai semblables utilisées dans l'industrie.

A.2 Calcul des rapports de surface de circuit magnétique

Le paragraphe 5.3.5 décrit la nécessité de spécifier la surface du circuit magnétique à inclure dans les essais du tube scellé. La surface du circuit magnétique peut influencer sur le processus de vieillissement du système d'isolation. Une large gamme de transformateurs a été étudiée (100 kVA à 400 MVA), générant de nombreux rapports de circuit magnétique sur liquide isolant. Le Tableau A.2 ci-dessous (dédit du Tableau A.1 de l'IEC TS 62332-1:2011) a permis d'obtenir une surface calculée de 9,6 cm² pour les transformateurs de puissance. Le rapport calculé de 12,6 est inférieur aux données présentées (comprises entre 15 cm et 60 cm²/kg de fluide), mais est utilisé pour être conforme à l'IEC TS 62332-1.

Tableau A.2 – Exemples de calculs des rapports de volume des composants

Composant (rapport)	Matériaux (unités)	Transformateur de référence	Modèle de référence (cellulose)	Modèle candidat (hybride)
A	Volume de l'isolation à haute température (cm ³)	269 000	155	165
B	Volume de l'isolation à basse température (cm ³)	683 000	373	373
C	Volume d'huile minérale (cm ³)	8 325 000	3 270	3 270
D	Surface du circuit magnétique (cm ²)	128 000	69,7	69,7
(B/A)	Isolation à basse température / Isolation à haute température	2,54	2,41	2,26
(B/C)	Volume de l'isolation à basse température / Volume de liquide	0,082	0,114	0,114
(A/C)	Volume de l'isolation à haute température / Volume de liquide	0,032	0,048	0,050
(B/D)	Volume de l'isolation à basse température / Surface du circuit magnétique	5,34	5,36	5,36

A.3 Calcul des composants de cuivre pour essai

A.3.1 Échantillons de fils émaillés

Préparer 5 échantillons de fils lourds comme décrit dans l'IEC 60851-5, dont le diamètre est compris entre 1,00 mm et 1,12 mm. Ceci constituera le volume d'échantillons de fils pour tous les essais. Pour les équipements qui utilisent un volume important de fils émaillés, l'essai peut porter sur 5 échantillons ou plus, mais il est toutefois nécessaire de soumettre à un essai électrique 5 échantillons uniquement.

NOTE La pratique ne permet pas d'inclure un nombre suffisant d'échantillons de fils afin de représenter la masse de cuivre présent dans le transformateur, dans la mesure où le rapport de la masse de cuivre sur la masse de fluide isolant variait de 0,40 à 0,70 dans les transformateurs des exemples, ce qui aurait nécessité 100 échantillons de fils dans l'exemple des transformateurs de puissance. Avec un rapport de fils émaillés inférieur à celui réellement utilisé dans le transformateur, l'évaluation observe les effets négatifs des produits de dégradation, issus des matériaux d'isolation solide, sur l'email et non l'inverse.

A.3.2 Échantillons de cuivre nu

Le cuivre nu exposé est présent dans la plupart des systèmes d'isolation des transformateurs immergés dans un liquide, soit sous la forme d'une feuille dans les enroulements basse tension des transformateurs de distribution, soit sous la forme de conducteurs dans tous les types de transformateurs. Les enroulements en cuivre enroulés avec du papier sont également présents dans de nombreux transformateurs. Pour cette raison, il convient que ce montage d'essai comporte des échantillons de cuivre nu afin de permettre au potentiel de cuivre d'agir comme un catalyseur dans certaines réactions de dégradation. Les valeurs étudiées relatives au rapport de la surface de cuivre sur la masse de liquide se sont révélées très différentes, la plus grande proportion de cuivre étant toutefois couverte. Afin de simplifier les valeurs du Tableau 1, le même volume de cuivre nu (9,6 cm²) a été choisi pour chacun des types de transformateurs et pour la surface de circuit magnétique.

Annexe B (informative)

Prise en compte de la durée et de la température de vieillissement

Comme décrit en 6.2.2, il a été choisi d'utiliser comme valeur de base de vieillissement une durée de 20 000 h qui constitue l'ATE avec une IDC de 6 K. Ceci est très proche de l'hypothèse de durée de vie indiquée dans le guide de charge décrit dans l'IEC 60076-7. Pour les papiers Kraft non améliorés, la valeur IDC attribuée est de 6 K et la durée de vie normale dépend des conditions (humidité, accès à l'oxygène, etc.). Dans le graphique ci-dessous, une durée de 150 000 h a été utilisée pour cette durée de vie normale à une température de 98 °C.

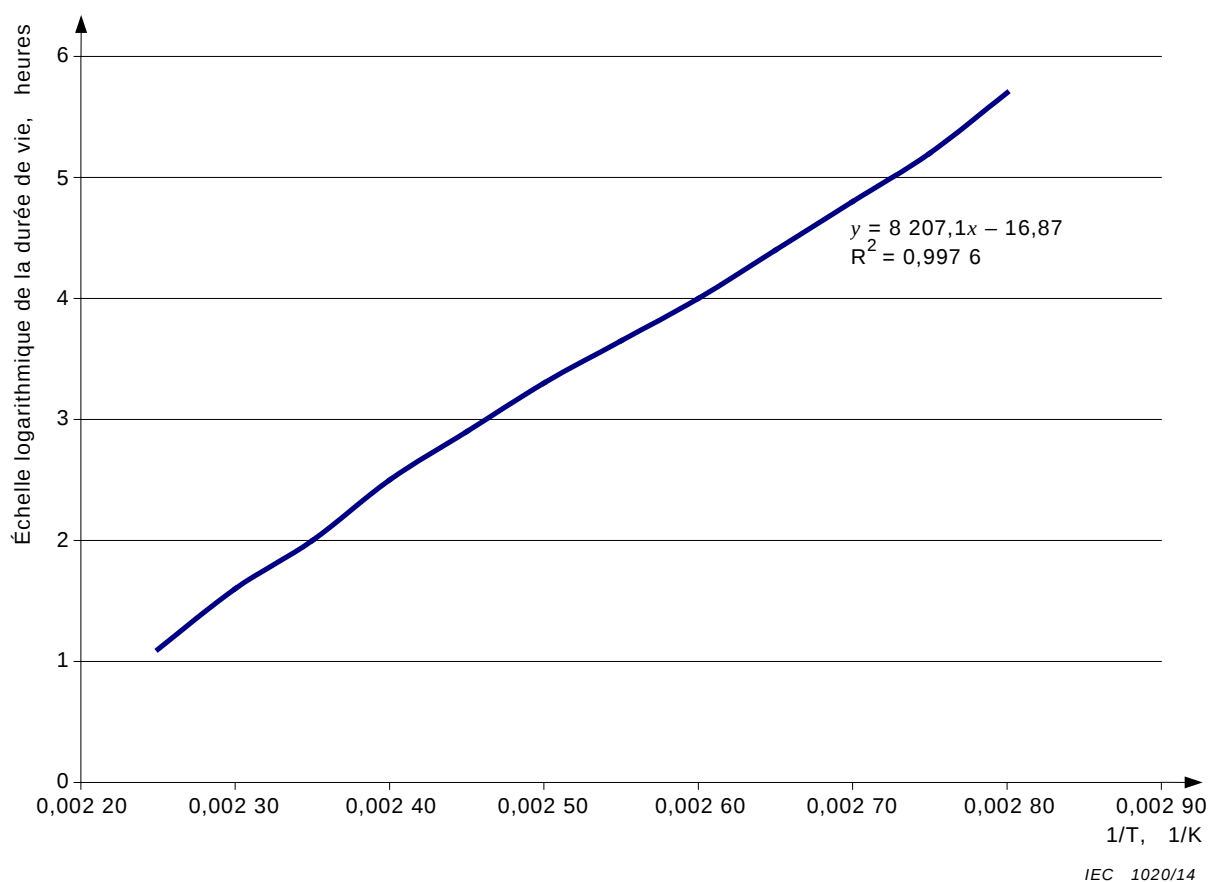


Figure B.1 – Système SIE de référence

Annexe C (informative)

Exemple de vieillissement

C.1 Essai du système de référence

Les valeurs du Tableau C.1 constituent un exemple fictif des résultats d'un essai d'évaluation du système de référence dans les conditions décrites dans le Tableau 2. Les valeurs énumérées dans ce tableau sont fournies en pourcentages. Elles peuvent représenter le pourcentage de rétention des valeurs des paramètres décrits en 6.3.2.

Lors de la réalisation des expériences de vieillissement pour le système de référence, il serait préférable de vérifier par essai plusieurs paramètres des composants du SIE de référence. Plusieurs critères de fin de vie pourraient alors être utilisés pour une comparaison avec le SIE candidat.

Tableau C.1 – Calcul des critères de fin de vie pour une évaluation comparative

		Durée de vieillissement 130 °C	Durée de vieillissement 145 °C	Durée de vieillissement 160 °C
Système d'isolation		3 536 h	625 h	110 h
SIE de référence	Essai 1 %	43,3	44,0	42,4
	Essai 2 %	47,0	46,5	38,0
	Essai 3 %	45,3	35,0	45,6
	Résultat moyen		43,01%	

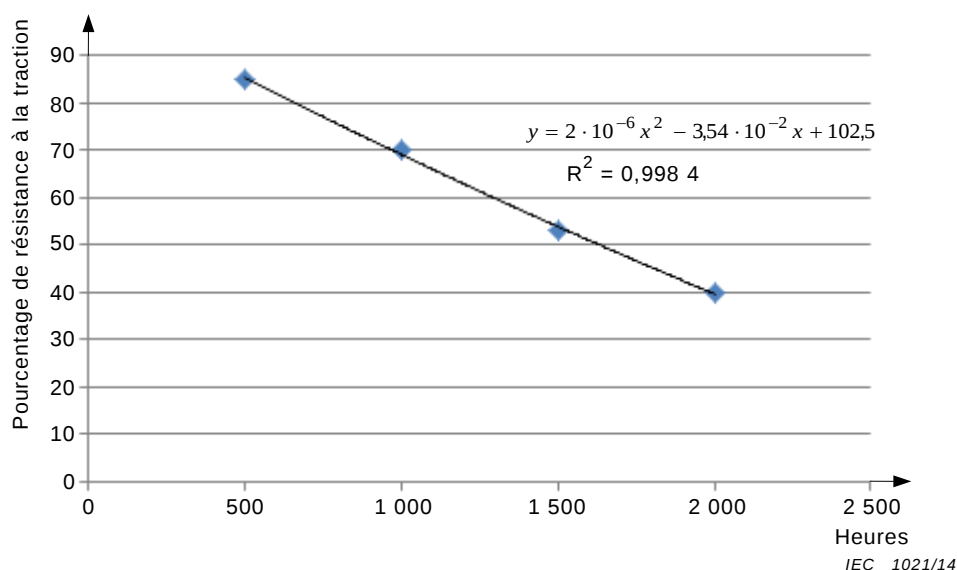
C.2 Essai du système candidat

Une fois que les critères de fin de vie relatifs au programme d'essai ont été déterminés pour le SIE de référence, le vieillissement du système candidat peut alors être réalisé. Les deux séries de vieillissement peuvent bien entendu être réalisées concurremment, mais une analyse complète du système candidat n'est pas possible tant que les critères de fin de vie n'ont pas été établis. Comme décrit en 6.2.3, la classe thermique attendue pour le système candidat est identifiée, et le programme de vieillissement peut se dérouler à l'aide du Tableau 3. Le Tableau C.2 constitue un exemple préparé de ce type d'expérience, pour un SIE candidat censé être qualifié en tant que classe thermique à 130 °C.

Tableau C.2 – Exemple d'expérience de vieillissement

Température °C	Essais de vieillissement	
	Durée , h	Résistance à la traction %
180	100	80
180	200	65
180	300	45
180	400	30
165	500	85
165	1 000	70
165	1 500	53
165	2 000	40
150	2 000	90
150	4 000	72
150	6 000	55
150	8 000	42

Avec ces données de vieillissement, les courbes de durée-température propres au candidat peuvent alors être obtenues. La Figure C.1 illustre la courbe propre à l'exemple susmentionné pour une température de 165 °C.

**Figure C.1 – Exemple de résultat de vieillissement pour une température de 165 °C**

Enfin, utiliser l'équation issue de l'expérience de vieillissement pour chaque température, les heures nécessaires pour atteindre les critères de fin de vie visés déterminés à partir de l'essai du SIE de référence (43,01 % selon l'exemple du Tableau C.1). La valeur calculée pour l'exemple de température de 165 °C de la Figure C.1 est de 1 880,2 h. L'ensemble complet des données d'essai permet de calculer trois durées à partir des données de vieillissement du Tableau C.2. Ces durées peuvent alors être représentées sous la forme d'une courbe comme le montre la Figure C.2.

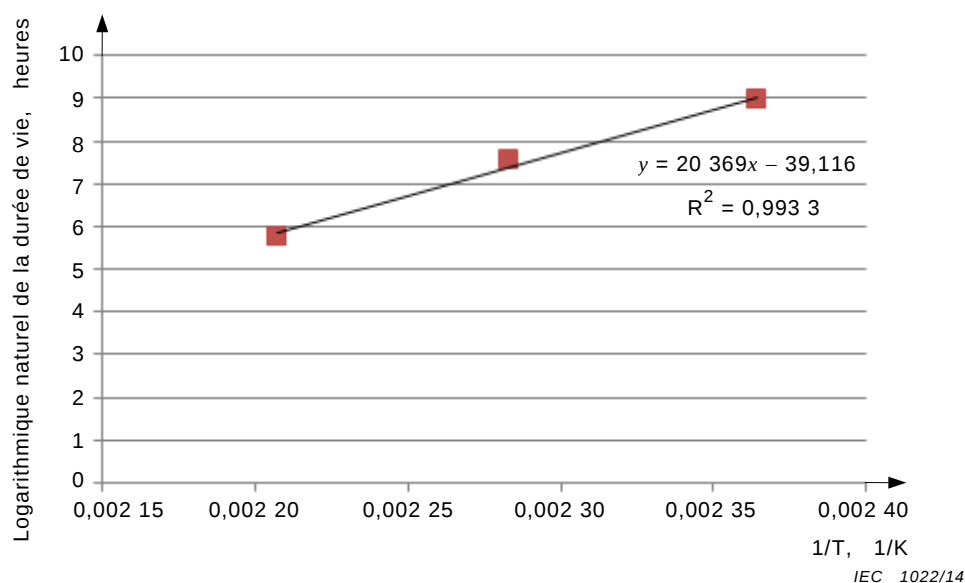


Figure C.2 – Courbe de durée de vie de vieillissement

L'équation de durée de vie peut alors être utilisée pour calculer le RTE SIE. Pour cet exemple, le système d'isolation candidat est soumis à une température assignée de 142,5 °C pendant 20 000 h. Cette valeur dépasserait alors la classe thermique de 140 °C, mais ne serait pas conforme à la classe thermique de 155 °C. Une classe thermique de 140 °C serait alors attribuée à ce SIE candidat.

Bibliographie

IEC 60076-6, *Transformateurs de puissance – Partie 6: Bobines d'inductance*

IEC 60076-7, *Transformateurs de puissance – Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile*

IEC 60076-14, *Transformateurs de puissance – Partie 14: Transformateurs de puissance immergés dans du liquide utilisant des matériaux isolants haute température*

IEC 60641-2, *Carton comprimé et papier comprimé à usages électriques – Partie 2: Méthodes d'essai*

IEC 61857-1:2008, *Systèmes d'isolation électrique – Procédures d'évaluation thermique – Partie 1: Exigences générales – Basse tension*

IEEE Standard 1276-1998, *IEEE Guide for Application of High-Temperature Insulation Materials in Liquid-Immersed Power Transformers*

ASTM D2307, *Standard Test Method for Thermal Endurance of Film-Insulated Round Magnet Wire*

McNUTT, W.J., PROVOST, R.L. WHEARTY, R.J., *Thermal life evaluation of high temperature insulation systems and hybrid insulation systems in mineral oil*, IEEE Paper 96WM 21-2 PWRD, IEEE PES Winter Power Meeting, 1996

NEMA MW1000, *Magnet Wire*

WICKS, R., BATES, L., MAREK, R., PREVOST, T., *Dual-Temperature Model Aging of Insulation Systems for Liquid-Immersed Transformers*, 76th Annual International Doble Client Conference, April 2009

WICKS, R., *Insulation Systems for Liquid-Immersed Transformers – New Materials Require New Methods for Evaluation*, Proceedings Electrical Insulation Conference pp348-358, June 2009

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