

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**CEI
IEC**

TECHNICAL SPECIFICATION

TS 62332-1

Première édition
First edition
2005-09

**Systèmes d'isolation électrique (SIE) –
Evaluation thermique de composants
liquides et solides combinés –**

**Partie 1:
Exigences générales**

**Electrical insulation systems (EIS) –
Thermal evaluation of combined liquid
and solid components –**

**Part 1:
General requirements**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TS 62332-1:2005

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**CEI
IEC**

TECHNICAL SPECIFICATION

TS 62332-1

Première édition
First edition
2005-09

Systèmes d'isolation électrique (SIE) – Evaluation thermique de composants liquides et solides combinés –

Partie 1: Exigences générales

Electrical insulation systems (EIS) – Thermal evaluation of combined liquid and solid components –

Part 1: General requirements

© IEC 2005 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

R

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Termes et définitions	12
4 Appareillage pour le vieillissement thermique	16
4.1 Description générale	16
4.2 Construction de l'appareillage d'essai	16
4.3 Surveillance et collecte de données	18
5 Construction de l'éprouvette	18
5.1 Général	18
5.2 Détermination du volume des composants	18
5.3 Eprouvette	20
6 Procédures d'essai	22
6.1 Généralités	22
6.2 Préparation des éprouvettes	22
6.3 Essais de diagnostic	24
6.4 Vieillissement thermique	26
6.5 Essai de fin de vie	28
7 Analyse des données	28
7.1 Critère de fin de vie	28
7.2 Rapport	30
Bibliographie	36
Annexe A (informative) Exemple de tableau de rapport de volume des composants	34
Figure 1 – Section de la cellule de vieillissement	32
Figure 2 – Exemple de paquet isolant pour un bobinage de transformateur	32
Tableau 1 – Vieillissement recommandé de températures et périodes pour classe thermique attendue	26

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	11
2 Normative references.....	11
3 Terms and definitions	13
4 Thermal ageing test apparatus.....	17
4.1 General description	17
4.2 Construction of the test apparatus	17
4.3 Monitoring and data collection.....	19
5 Construction of the test object.....	19
5.1 General	19
5.2 Determination of component volumes	19
5.3 Test object	21
6 Test procedures.....	23
6.1 General	23
6.2 Preparation of the test objects	23
6.3 Diagnostic tests	25
6.4 Thermal ageing	27
6.5 End-point testing	29
7 Analysis of data	29
7.1 End-point criteria	29
7.2 Report.....	31
Annex A (informative) Component volume ratio spreadsheet example.....	35
Bibliography.....	37
Figure 1 – Ageing cell cross-section	33
Figure 2 – Example of Insulation package for a transformer winding	33
Table 1 – Recommended ageing temperatures and periods for expected thermal class.....	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 1: Exigences générales

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI 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.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS (EIS) –
THERMAL EVALUATION OF COMBINED LIQUID
AND SOLID COMPONENTS –****Part 1: General requirements**

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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.

La CEI 62332-1, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 112: Evaluation et quantification des matériels et des systèmes d'isolation électrique (titre provisoire) de la CEI.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
98/213/DTS	112/4/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/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 62332-1:2005

IEC 62332-1, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 112: Evaluation and quantification of electrical insulating materials and systems (provisional title).

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

Enquiry draft	Report on voting
98/213/DTS	112/4/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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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

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

INTRODUCTION

Cette 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. La Partie 1 couvre les exigences générales d'essai. Les parties suivantes couvriront les exigences d'essai spécifiques de produits.

Avant cette spécification technique, la procédure standard pour déterminer l'endurance thermique des systèmes d'isolation pour les produits immergés comprenait deux processus: premièrement, le vieillissement en ampoules scellées et, deuxièmement le vieillissement des modèles grandeur nature.

Le vieillissement de modèles grandeur nature est impraticable, particulièrement pour de grands produits, tels que des transformateurs de puissance. De même, l'utilisation du vieillissement en ampoules scellées n'est pas pratique si l'on teste des composants ayant des tenues thermiques rigoureusement différentes. Par exemple, l'essai d'un système avec un matériau solide d'index thermique de 200 °C avec un liquide ayant une tenue thermique de 130 °C ne peut pas être réalisé efficacement. Les températures de vieillissement accélérées, qui vieillissent correctement le liquide, auront comme conséquence des périodes de vieillissement extrêmement longues pour le solide. Les températures de vieillissement accélérées qui vieillissent correctement le solide, auront comme conséquence un extrême, ou même dangereux, vieillissement du liquide.

Cette spécification technique décrit une procédure de vieillissement thermique accélérée et un modèle qui permet aux matériaux solides d'être vieillis à des températures différentes des températures de vieillissement du liquide, tous étant dans le même appareil. Le modèle agit plus en mode de vieillissement réel des systèmes d'isolation, où l'isolation solide près des parties actives est exposée à des températures beaucoup plus élevées que la majeure partie du volume du liquide présent dans l'équipement. Le modèle contient tous les éléments primordiaux du SIE, et dans des rapports qui reproduisent les produits électrotechniques réels.

Le modèle a des possibilités de double température qui permettent la commande indépendante de la température des composants solides et liquides par l'utilisation de circuits séparés. Une bibliographie détaillée est fournie.

Ce procédé n'est actuellement pas applicable aux SIE avec des conducteurs émaillés. Les recommandations concernant la façon de les inclure sont bienvenues. Ce document a été préparé en concertation avec le TC 14, transformateurs de puissance. Tous les commentaires ou suggestions d'autres comités techniques pour rendre le document plus général sont bienvenus.

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. Part 1 covers general test requirements. Subsequent parts should cover specific product test requirements.

Prior to this technical specification, the standard procedure for determining the thermal endurance of insulation systems for liquid-immersed products involved one of two processes: firstly, sealed-tube ageing and, secondly, ageing of full-scale models.

The use of full-scale models is impractical, especially for larger products, such as power transformers. Similarly, the use of sealed-tube ageing is not practical when testing components having drastically different thermal capabilities. For example, testing of a system with a solid material with a 200 °C thermal index with a liquid having a 130 °C thermal capability cannot be performed efficiently. Accelerated ageing temperatures, which fairly age the liquid, will result in extremely long ageing times for the solid. Accelerated ageing temperatures, which fairly age the solid, will result in extreme, or even hazardous ageing of the liquid.

This technical specification describes an accelerated thermal ageing procedure and process model that allows for the solid materials to be aged at temperatures separate from the liquid ageing temperatures, all in the same apparatus. The model acts more in the true-life ageing mode of insulation systems, where solid insulation near the active parts is exposed to much higher temperatures than the bulk liquid in the equipment. The model contains all the primary EIS elements, and in relative component ratios which compare with actual electrotechnical products.

The model has a dual temperature capability that allows independent control of the temperature of the solid and liquid components by the use of separate circuits. A detailed bibliography is provided.

This procedure is currently not applicable to EIS with enamel-coated conductors. Recommendations on how to include them are welcome. This standard has been prepared in conjunction with TC 14, Power transformers. Any comments or suggestions from other technical committees to make the standard more general are welcome.

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

Partie 1: Exigences générales

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62332 est applicable aux SIE contenant des composants solides et liquides où la contrainte thermique est le facteur de vieillissement dominant, sans restriction de la classe de tension. Ce procédé n'est pas applicable aux SIE contenant un conducteur émaillé.

La présente partie indique une méthode d'essai à double température pour l'évaluation et la qualification thermiques des systèmes d'isolation électrique (SIE).

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

CEI 60216-3: *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique*

CEI 60216-5: *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant*

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

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

CEI 60250: *Méthodes recommandées pour la détermination de la permittivité et du facteur de dissipation des isolants électriques aux fréquences industrielles, audibles et radioélectriques (ondes métriques comprises)*

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

CEI 60422: *Guide de maintenance et de surveillance des huiles minérales isolantes en service dans les matériels électriques*

CEI 60450 : *Mesure du degré de polymérisation moyen viscosimétrique des matériaux isolants cellulosiques neufs et vieillis à usage électrique*

CEI 60505: *Evaluation et qualification des systèmes d'isolation électrique*

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

Part 1: General requirements

1 Scope

This part of IEC 62332 is applicable to EIS containing solid and liquid components where the thermal stress is the dominant ageing factor, without restriction to voltage class. This procedure is not applicable to EIS containing enamel-coated conductors.

This part specifies a dual-temperature test procedure for the thermal evaluation and qualification of electrical insulation systems (EIS).

2 Normative references

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

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

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

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 60250: *Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric dissipation factor of electrical insulating materials at power, audio and radio frequencies including metre wavelengths*

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

IEC 60422: *Supervision and maintenance guide for mineral insulating oils in electrical equipment*

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

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

CEI 60554-2: *Papiers cellulosiques à usages électriques – Partie 2: Méthodes d'essai*

CEI 60567: *Guide d'échantillonnage de gaz et d'huile dans les matériels électriques immergés, pour l'analyse des gaz libres et dissous*²

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

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

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

CEI 61198: *Huiles minérales isolantes; méthodes pour la détermination du 2-furfural et ses dérivés*

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

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

CEI 62021-1: *Liquides isolants – Détermination de l'acidité – Partie 1: Titration potentiométrique automatique*

CEI 62114: *Systèmes d'isolation électrique (SIE) – Classification thermique*

ISO 287: *Papier et carton – Détermination de l'humidité – Méthode par séchage à l'étuve*

ISO 1924 (toutes les parties) *Papier et carton – Détermination des propriétés de traction*

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

ISO 6295: *Produits pétroliers. Huiles minérales – Détermination de la tension interfaciale entre huile et eau. Méthode de l'anneau*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions dont certains sont extraits de la CEI 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

[CEI 60505, définition 3.1.1].

NOTE Des MIE avec différents indices thermiques (ATE RTE selon la CEI 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 selon la CEI 60505.

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

IEC 60567: *Guide for the sampling of gases and of oil from oil-filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gases* ²

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 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 61857-1: *Electrical insulation systems (EIS) – Procedures for thermal evaluation – Part 1: General requirements – Low voltage*

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

IEC 62114: *Electrical insulation systems (EIS) – Thermal classification*

ISO 287: *Paper and board – Determination of moisture content – Oven-drying method*

ISO 1924 (all parts): *Paper and board – Determination of tensile properties*

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

ISO 6295: *Petroleum products – Mineral oils – Determination of interfacial tension of oil against water – 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

[IEC 60505, definition 3.1.1]

NOTE 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.

3.2

SIE candidat

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

3.3

SIE de référence

SIE évalué et déterminé, soit avec 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 d'utilisation, en degrés Celsius, pour laquelle le SIE est approprié et selon la CEI 62114, Tableau 1

NOTE Le SIE peut être soumis aux températures de fonctionnement excédant sa classe thermique, ce qui peut avoir comme conséquence une durée de vie plus courte.

3.5

indice d'endurance thermique d'un SIE

IET SIE

valeur numérique de la température, en degrés Celsius, du SIE de référence comme dérivé d'une expérience en service connue ou sur la base d'une évaluation fonctionnelle comparative connue

3.6

indice relatif d'endurance thermique d'un SIE

IRET SIE

valeur numérique de la température, en degrés Celsius, pour le SIE candidat relativement au SIE connu par rapport au IET SIE d'un SIE de référence, quand les deux SIE sont soumis aux mêmes procédures de vieillissement et de diagnostic dans un essai comparatif

3.7

éprouvette

échantillon ou partie du matériel d'origine, ou modèle représentant le matériel complètement ou partiellement, y compris le SIE, pour être utilisé dans un essai fonctionnel

3.8

facteur de vieillissement thermique

contrainte thermique pouvant provoquer 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 du composant

[CEI 61857-1, définition 3.11 modifiée]

3.11

fin de vie

fin de la durée de vie d'une éprouvette, comme déterminé par tout composant choisi répondant à son critère de fin de vie

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 use temperature in degrees Celsius for which the EIS is appropriate and according to IEC 62114, Table 1

NOTE 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

[IEC 61857-1, definition 3.11 modified]

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

cellule de vieillissement

réceptacle scellé partiellement rempli du MIE liquide et dans lequel est montée l'éprouvette, les résistances chauffantes et les thermocouples pour la commande et la surveillance

4 Appareillage pour le vieillissement thermique

4.1 Description générale

L'appareillage pour le vieillissement thermique doit être conçu pour permettre le vieillissement séparé de composants solides et liquides. Les SIE de référence et candidat doivent être exposés à des cycles d'essai aux températures élevées choisies. Chaque cycle consiste en un temps d'exposition spécifique à la température choisie et aux essais de diagnostic.

Le système d'essai consiste en

- cellules de vieillissement;
- alimentation d'énergie;
- système de commande;
- système de sécurité;
- système de prélèvement d'échantillons;
- système de contrôle/collecte de données.

4.2 Construction de l'appareillage d'essai

4.2.1 Cellule de vieillissement

Chaque cellule de vieillissement est un conteneur construit en acier inoxydable, la taille doit être définie en fonction de la taille de l'éprouvette. Il faut que le volume de la cellule prenne en considération l'espace exigé pour l'expansion thermique du liquide aux températures de vieillissement. Les deux extrémités de la cellule doivent être fermées avec des couvercles amovibles et fixés par des vis. L'éprouvette est montée dans la cellule de vieillissement.

Des ouvertures doivent être prévues pour

- le prélèvement d'échantillons du liquide;
- le passage de circuits électriques pour chauffer les parties actives;
- les éléments de contrôle et de surveillance;
- les résistances chauffantes;
- l'azote pour éliminer la possibilité d'oxydation du liquide.

La conception de la cellule de vieillissement doit être configurée pour maintenir les thermocouples du liquide et les composants solides des éprouvettes immergés dans le liquide à toutes les températures de vieillissement. Voir également 5.3.3.

Pour les détails spécifiques, voir Figure 1.

Il est recommandé que les cellules de vieillissement soient maintenues par un support.

4.2.2 Résistances chauffantes

Les résistances chauffantes doivent avoir des capacités thermiques pour maintenir la température du liquide testé dans la gamme de températures définie par la procédure d'essai.

3.12

ageing cell

sealed container partially filled with the liquid EIM and in which are mounted the test object, liquid immersion heaters and thermocouples for control and monitoring

4 Thermal ageing test apparatus

4.1 General description

The thermal ageing test apparatus shall be designed to allow the separate ageing of solid and liquid components. The reference and candidate EIS shall be exposed to test cycles at selected elevated temperatures. Each cycle consists of a specific time exposure at the selected temperature and diagnostic tests.

The test system consists of

- ageing cells;
- power supply;
- control system;
- safety system;
- sampling system;
- monitoring/data collection system.

4.2 Construction of the test apparatus

4.2.1 Ageing cells

Each ageing cell is a container constructed of stainless steel, the size to be defined as a function of the test object. The cell volume must consider the space required for thermal expansion of the liquid at ageing temperatures. The two ends of the cell shall be fitted with removable, sealable bolt-on covers. The test object is mounted within the ageing cell.

Ports shall be provided for

- sampling of the liquid;
- pass-through of electrical circuits for heating of the active parts;
- monitoring and control elements;
- immersion heaters;
- nitrogen gas to eliminate the possibility of oxidation of the liquid.

The design of the ageing cell shall be configured to maintain the liquid thermocouples and the solid component of the test objects immersed in the liquid under all ageing temperatures. See also 5.3.3.

For specific details, see Figure 1.

The ageing cells should be supported in a rack.

4.2.2 Immersion heaters

Immersion heaters shall have thermal capability to maintain the temperature of the test liquid within the temperature range defined by the test procedure.

4.2.3 Alimentation

Des alimentations séparées doivent être fournies pour établir indépendamment les températures définies pour le liquide et pour les éprouvettes.

- Le courant circulant dans l'éprouvette doit établir la température exigée définie par la procédure d'essai.
- La capacité de puissance doit se conformer à 4.2.2.

AVERTISSEMENT: Pour des raisons de sécurité, les cellules de vieillissement doivent être reliées à la terre.

4.2.4 Système de contrôle du circuit

La surveillance automatique avec les sondes thermiques commande les températures de l'éprouvette et du liquide. Une régulation doit être utilisée pour maintenir chaque température dans les ± 2 K.

4.2.5 Système d'alimentation d'azote

Le système d'alimentation en azote doit être fourni pour maintenir un coussin de gaz au-dessus du liquide, dans la cellule, afin d'éliminer la possibilité d'oxydation du liquide. Le coussin de gaz dans chaque cellule doit être régulé pour maintenir une pression positive.

4.2.6 Système de sécurité

Une valve de surpression doit être installée sur chaque cellule pour empêcher la pression interne des cellules d'excéder 20 kPa.

Un dispositif de protection de surchauffe doit être fourni, contrôlé par des capteurs de température du liquide et de l'éprouvette, dans chaque cellule. Les capteurs pour la protection de surchauffe doivent être indépendants des capteurs pour la commande de température.

4.3 Surveillance et collecte de données

Les données de tous les capteurs thermiques doivent être surveillées. Toutes les déviations de la consigne de plus de 1 h doivent être enregistrées d'heure en heure jusqu'à ce qu'elles soient corrigées.

5 Construction de l'éprouvette

5.1 Général

L'éprouvette est conçue pour modéliser la partie SIE des produits électrotechniques sous évaluation et consiste d'habitude en

- un conducteur porteur de courant;
- l'isolation du conducteur;
- des cales ou barrières d'isolation;
- un liquide.

D'autres composants peuvent être utilisés si appropriés.

5.2 Détermination du volume des composants

Il est important que les rapports des volumes de composants utilisés pour construire l'éprouvette soient représentatifs du produit électrotechnique modélisé.

4.2.3 Power supply

Separate power supplies shall be provided to independently establish the defined temperatures in the liquid and the test object.

- Current through the test object shall establish the required temperature defined by the test procedure.
- Power capacity to comply with 4.2.2.

WARNING: For safety reasons, ageing cells shall be connected to earth.

4.2.4 Control circuit system

Automatic monitoring with thermal sensors controls the temperatures of the test object and liquid. A control feedback circuit shall be used to maintain each temperature within ± 2 K.

4.2.5 Nitrogen system

A nitrogen gas system shall be provided to maintain a gas blanket over the liquid in the cell for the purpose of eliminating the possibility of oxidation of the liquid. The gas blanket in each cell shall be regulated to maintain a positive pressure.

4.2.6 Safety system

A pressure relief valve shall be installed on each cell to prevent the internal cell pressure from exceeding 20 kPa.

An over-temperature protection device shall be provided, responding to the temperature sensors in both the liquid and the test object in each cell. The sensors for the over-temperature protection shall be independent of the sensors for temperature control.

4.3 Monitoring and data collection

The output of all temperature sensing devices shall be monitored. Any deviations from the set-point range for more than 1 h shall be recorded hourly until corrected.

5 Construction of the test object

5.1 General

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

- a current-carrying conductor;
- a conductor insulation;
- insulation spacers/barriers;
- a liquid.

Other components may be used as appropriate.

5.2 Determination of component volumes

It is important that the ratios of volumes of components used to construct the model shall be representative of the electrotechnical product being modelled.

Déterminer le volume total des composants individuels dans les produits évalués. Déterminer le pourcentage de chaque composant individuel comme une partie du volume total. Les pourcentages doivent être utilisés pour déterminer le volume spécifique de ces composants individuels devant être utilisés dans la construction de l'éprouvette. Dans une famille de produits utilisant le même SIE spécifique, il convient que la proportion de volume des composants individuels au volume total soit semblable.

NOTE Le volume du liquide est déterminé à 20 °C.

Un exemple de tableur est inclus dans l'Annexe A pour calculer les volumes et les dimensions des composants.

NOTE Des composants complémentaires peuvent être insérés dans la cellule de vieillissement pour réaliser le meilleur équilibre entre des exigences de volume et celles de température.

5.3 Eprouvette

5.3.1 Généralités

L'éprouvette suivante représente une bobine immergée dans un liquide, qui inclut les composants liquides et solides du SIE.

5.3.2 Assemblage du conducteur

L'assemblage du conducteur consiste en une longueur de conducteur dont la forme et la section sont représentatives de celles du produit électrotechnique qui est simulé. Les dimensions spécifiques du conducteur (section et longueur) doivent être basées sur les calculs de volume et de température. Un exemple est présenté à la Figure 2.

Les terminaisons du conducteur, qui passent au travers du couvercle, doivent être soudées au conducteur et fixées sur ce même couvercle.

Le conducteur doit être isolé comme exigé par les proportions de volume déterminées selon 5.2.

Deux thermocouples de type K doivent être installés solidement sur la surface du conducteur pour la mesure de température et le contrôle. Des thermocouples supplémentaires peuvent être inclus.

NOTE Les thermocouples contenant du fer présentent un problème potentiel d'oxydation.

L'assemblage du conducteur doit avoir une barrière thermique pour établir un gradient de température entre le conducteur et le liquide. Le matériau pour la barrière thermique doit être un des MIE utilisé dans l'éprouvette. Les barrières thermiques doivent être sécurisées sur l'assemblage du conducteur au moyen d'un ruban inerte.

5.3.3 Composant liquide

La cellule doit être remplie du composant liquide devant être évalué. Le volume du liquide doit être déterminé en fonction des exigences de 5.2, basées sur les calculs de volume et de température.

Un thermocouple de type K doit être installé dans le volume liquide pour la mesure de température et un autre pour le contrôle de température. Le premier sera placé près de la surface liquide à température ambiante. Le deuxième est placé près du centre du volume liquide. Par exemple, dans des transformateurs de puissance, le thermocouple placé près de la surface est utilisé pour contrôler la température du liquide. Pour certains produits, le thermocouple au centre du liquide peut être utilisé pour la régulation.

Determine the total volume of the individual components in the products to be evaluated. Determine the percentage of each individual component as a part of the total volume. The percentages shall be used to determine the specific volume 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 volume of the individual components to the total volume should be similar.

NOTE The liquid volume is determined at 20 °C.

A spreadsheet programme example is included in Annex A for calculating the volumes and dimensions of the components.

NOTE Additional components may be inserted into the ageing cell in order to achieve the best balance between temperature and volume requirements.

5.3 Test object

5.3.1 General

The following test object represents a liquid-immersed coil, which includes the liquid and solid components of the EIS.

5.3.2 Conductor assembly

The conductor assembly consists of a length of conductor whose shape and cross-sectional area are representative of that in the electrotechnical product being simulated. Specific conductor dimensions (cross-section and length) shall be based on volume and temperature calculations. An example is provided in Figure 2.

The conductor terminals, which pass through the end-plate, shall be brazed to the conductor and fixed in the end-plate.

The conductor shall be insulated as required by the volume ratios determined from 5.2.

Two type K thermocouples shall be installed securely on the surface of the conductor for temperature measurement and control. Additional thermocouples may be included.

NOTE Thermocouples containing iron present a potential oxidation problem.

The conductor assembly shall have a thermal barrier to establish a temperature gradient between the conductor and the liquid. The material for the thermal barrier shall be one of the EIM used in the test object. Thermal barriers shall be secured to the conductor assembly by means of an inert tie.

5.3.3 Liquid component

The cell shall be filled with the liquid component being evaluated. The volume of the liquid shall be determined from requirements in 5.2 based on volume and temperature calculations.

One type K thermocouple shall be installed within the liquid volume for temperature measurement and another for temperature control. One is located near the liquid surface at room temperature. The second is located near the centre of the liquid volume. For example, for power transformers, the thermocouple located near the surface is used for controlling liquid temperature.

5.3.4 Autres composants

Pour chaque produit devant être simulés, des composants représentatifs non inclus dans le SIE, mais pouvant affecter celui-ci, doivent être inclus. Par exemple, des parties de circuit magnétique, les matériaux soutenant les câbles de sortie et les matériaux du conteneur. Il convient que les volumes relatifs de ces composants correspondent à ceux du produit évalué, à l'exception du circuit magnétique et des matériaux du conteneur. La quantité relative de circuit magnétique et du matériau du conteneur doit être déterminée en se basant sur la surface exposée au composant liquide. Un exemple est donné à l'Annexe A.

6 Procédures d'essai

6.1 Généralités

Des essais de vieillissement à trois températures doivent être réalisés sur le SIE candidat pour établir sa tenue thermique. Un système de référence doit être utilisé pour valider les résultats des essais du SIE candidat. Sauf stipulation contraire du CE de l'équipement, le système de référence doit être une isolation solide cellulosique et de l'huile minérale.

6.2 Préparation des éprouvettes

Il est recommandé que la quantité d'échantillons d'isolation solide et liquide soit suffisante pour fournir l'ensemble d'éprouvettes de références et candidates ainsi que les besoins pour les essais de diagnostic.

Tous les échantillons solides doivent être préconditionnés par séchage de 110 °C à 120 °C pendant au moins 48 h. L'échantillon liquide doit être filtré, séché et dégazé.

Immédiatement après le séchage, l'assemblage du conducteur et les autres matériaux doivent être imprégnés sous vide avec le liquide à évaluer. Le processus d'imprégnation est conduit pendant 12 h à 16 h, à 60 °C.

Avant d'insérer les éprouvettes dans une cellule de vieillissement, enlever les échantillons solides et liquides préconditionnés nécessaires aux essais de diagnostic.

Une cellule de vieillissement propre et sèche est alors remplie du volume de liquide précédemment déterminé et l'éprouvette imprégnée est insérée. La cellule est rapidement scellée, purgée ensuite avec de l'azote sec.

Après son assemblage, la cellule de vieillissement est placée dans un support. Tous les circuits d'alimentation, de contrôle et de surveillance ainsi que l'alimentation en azote doivent être connectés. Etant alimentée, la pression dans la cellule est surveillée tandis que les éléments internes sont en train de chauffer. La pression excédentaire est purgée jusqu'à ce que la cellule atteigne sa température de vieillissement.

6.2.1 Eprouvette de référence

La SIE de référence doit être composée de matériaux solides et de liquide dont le comportement, en combinaison, est établi. Au moment de la publication de cette norme, le seul SIE de référence établi est composé de matériaux solides cellulosiques et d'huile minérale. Le IET SIE de ce système de référence est reconnu pour être 105 °C. Cependant, si le CE de l'équipement a établi un autre SIE avec une performance connue, cette performance peut être utilisée comme référence SIE. Il convient que le CE de l'équipement fournisse les détails spécifiques.

5.3.4 Other components

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

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 system shall be used to validate the testing of the new system. Unless otherwise stipulated by the equipment TC, the reference system shall be cellulose solid insulation and mineral oil.

6.2 Preparation of the test objects

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 at 110 °C to 120 °C for at least 48 h. The liquid sample shall be purified, dried and de-gassed.

Immediately after drying, the conductor assembly and other materials shall be vacuum-impregnated with the liquid under evaluation. The impregnation process is conducted for 12 h to 16 h, at 60 °C.

Prior to inserting the test objects into the ageing cell, remove the pre-conditioned solid and liquid diagnostic test samples.

A clean, dry ageing cell is then filled with the previously determined volume of liquid and the impregnated test object is inserted. The cell is quickly sealed then purged with dry nitrogen gas.

Following the assembly of the ageing cell, it is placed into a test rack. All power, control, monitoring and grounding circuits as well as the nitrogen supply line shall be connected. With power on, the pressure within the cell is monitored while the internal elements are heating. Excess pressure is bled off until the cell reaches its ageing temperatures.

6.2.1 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 standard, 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 TC has established another EIS with known performance, this may be used as the reference EIS. The equipment TC should provide specific details.

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 du SIE candidat. Pour le système cellulose et huile minérale, les températures de vieillissement doivent être comme indiqué ci-après:

- Conducteur avec isolation de cellulose Kraft: 160 °C
- Huile minérale selon la CEI 60296: 115 °C

L'expérience a démontré que, à ces températures, 50 % de la tenue en traction originale de l'isolation solide seront atteints après 500 h.

NOTE Au cas où la valeur de 50 % n'a pas été atteinte dans les 500 h, il convient qu'un deuxième jeu de trois éprouvettes soit vieilli avec un temps de cycle accru basé sur l'évaluation des résultats d'essai.

6.2.2 Eprouvettes candidates

Trois jeux de trois cellules de vieillissement chacun (neuf cellules au total) doivent être utilisés pour le système candidat pour chaque température d'essai, pour déterminer la demi-vie du système aux températures préchoisies (au total 27 cellules d'essai).

La forme physique, la taille et la construction des éprouvettes des systèmes de référence et candidat doivent être semblables, avec un ou plus des matériaux solides et/ou du liquide remplacé par les matériaux candidats devant être évalués.

6.3 Essais de diagnostic

Les échantillons tant de l'isolation solide que de l'isolation liquide doivent être évalués avant le démarrage et après l'arrêt de chaque cellule. Les propriétés électriques et physiques de l'isolation solide et du liquide doivent être mesurées. Les changements entre les états initiaux et finaux doivent être utilisés pour déterminer la quantité de dégradation arrivant pendant le cycle d'essai. Les résultats des mesures de teneur en humidité initiale doivent être utilisés pour déterminer si vraiment les matériaux sont adéquatement séchés avant le démarrage.

6.3.1 Isolation solide

Au démarrage, les échantillons d'isolation solides préconditionnés selon 6.2 doivent être évalués en utilisant un ou plusieurs essais de diagnostic devant être choisis par le comité d'études de l'équipement pour déterminer la fin de vie. Des essais complémentaires peuvent être utilisés à fin de surveillance. Les exemples d'essais de diagnostics typiques sur des matériaux cellulositiques sont:

<i>Caractéristiques</i>	<i>Spécification d'essai</i>
Teneur en humidité:	CEI 60554-2 (ISO 287)
Tenue diélectrique dans l'huile:	CEI 60243-1
Tan δ et permittivité ϵ dans l'huile:	CEI 60250
Résistance mécanique:	CEI 60554-2 (ISO 1924)
Résistance à la compression:	CEI 60763-2
Degré de polymérisation (cellulose):	CEI 60450

6.3.2 Isolation liquide

Au démarrage, l'isolation liquide préconditionnée selon 6.2 doit être évaluée en utilisant un ou des essais de diagnostic choisis par le comité d'études de l'équipement pour déterminer la fin de vie. Des essais complémentaires peuvent être utilisés à fin de surveillance. Les exemples d'essai de diagnostic typique sur des liquides sont:

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 cellulose and mineral oil system, the ageing temperatures shall be as follows:

- Conductor with Kraft cellulose insulation: 160 °C
- Mineral oil according to IEC 60296: 115 °C

Experience has shown that, at these temperatures, 50 % of the original tensile strength of the solid insulation will be reached in 500 h.

NOTE In the event that the 50 % value has not been reached in 500 h, a second set of three test objects should be aged at an increased cycle time based upon evaluation of the test results.

6.2.2 Candidate test object

Three sets of three ageing cells each (nine cells) shall be used for the candidate system for each test temperature, in order to determine the half-life of the system at the pre-selected temperatures (a total of 27 test cells).

The physical shape, size and construction of the reference and candidate test object 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

Samples of both the solid insulation and the liquid insulation shall be tested prior to start-up and after shutdown of each cell. Electrical and physical properties of the solid insulation and the liquid shall be measured. Changes between the initial and final states shall be used to determine the amount of degradation occurring during the testing cycle. Results of the initial moisture content measurements shall be used to determine whether or not the materials are adequately dried prior to start-up.

6.3.1 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 be chosen by the equipment TC to determine end of life. Additional tests may be used for monitoring purposes. Examples of typical diagnostic tests for cellulosic materials are:

<i>Characteristics</i>	<i>Test specification</i>
Moisture content:	IEC 60554-2 (ISO 287)
Dielectric strength in oil:	IEC 60243-1
Tan δ and permittivity ϵ in oil:	IEC 60250
Tensile strength:	IEC 60554-2 (ISO 1924)
Compression strength:	IEC 60763-2
Degree of polymerization (cellulose):	IEC 60450

6.3.2 Liquid insulation

At start-up, the liquid insulation pre-conditioned according to 6.2 is to be tested using one or more diagnostic tests to be chosen by the equipment technical committee to determine end of life. Additional tests may be used for monitoring purposes. Examples of typical diagnostic test for liquids are:

Caractéristiques

Spécification d'essai

Couleur et apparence:

ISO 2049

Tenue diélectrique:

CEI 60156

Tension interfaciale:

ISO 6295

Acidité:

CEI 62021-1

Facteur de dissipation diélectrique (FDD) à 90 °C:

CEI 60247 ou CEI 61620

Teneur en humidité:

CEI 60814

Gaz dissous:

CEI 60567 et CEI 60599

Teneur 2-furfural:

CEI 61198

6.4 Vieillessement thermique

6.4.1 Températures de vieillissement recommandées pour le composant solide

Choisir les températures de vieillissement pour le contrôle de température de conducteur basé sur la classe thermique attendue dans le Tableau 1. Les quatre durées de période de vieillissement sont définies pour chaque température de vieillissement dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Vieillessement recommandé de températures et périodes pour classe thermique attendue

Durée de la période de vieillissement h	Classe thermique attendue							
	90	105	120	130	155	180	200	220
1500/3000/4500/6000	110 °C	125 °C	140 °C	150 °C	175 °C	200 °C	220 °C	240 °C
500/1000/1500/3000	125 °C	140 °C	155 °C	165 °C	190 °C	215 °C	235 °C	255 °C
250/500/750/1000	140 °C	160 °C	170 °C	180 °C	205 °C	230 °C	250 °C	270 °C

6.4.2 Températures de vieillissement recommandées pour le composant liquide

Il est recommandé que la température de vieillissement du liquide soit au moins 15 % au-dessus de la plus haute température d'exploitation acceptable pour l'équipement modélisé. Cependant, une température d'au moins 10 % au-dessous du point d'ignition du liquide ne doit pas être dépassée. Si la première température ne peut pas être atteinte pour des raisons de risque, il convient, alors, d'utiliser la température la plus sûre.

6.4.3 Procédure de vieillissement du SIE de référence

Pour les besoins de cette spécification technique, le SIE de référence est établi avec du papier de cellulose Kraft combiné à de l'huile minérale, pour utilisation dans les transformateurs de puissance, et il doit être vieilli selon 6.2.1. C'est-à-dire:

- conducteur avec isolation de cellulose Kraft: 160 °C
- huile minérale selon la CEI 60296: 115 °C

Des éprouvettes de référence pour l'équipement complémentaire doivent être déterminées suite à l'essai complet.

Vieillir les trois cellules d'essai de référence durant le temps et aux températures établis précédemment. Extraire et évaluer les échantillons des matériaux liquides et solides pour les essais de diagnostic complémentaires.

<i>Characteristic</i>	<i>Test specification</i>
Colour and appearance:	ISO 2049
Breakdown voltage:	IEC 60156
Interfacial tension:	ISO 6295
Acidity:	IEC 62021-1
Dielectric dissipation factor (DDF) at 90 °C	IEC 60247 or IEC 61620
Water content :	IEC 60814
Dissolved gas :	IEC 60567 and IEC 60599
2-furfural content :	IEC 61198

6.4 Thermal ageing

6.4.1 Recommended solid-component ageing temperatures

Select the ageing temperatures for conductor temperature control based on the expected thermal class in Table 1. The four ageing period durations are defined for each ageing temperature in Table 1.

Table 1 – Recommended ageing temperatures and periods for expected thermal class

Duration of ageing period h	Expected thermal class							
	90	105	120	130	155	180	200	220
1500/3000/4500/6000	110 °C	125 °C	140 °C	150 °C	175 °C	200 °C	220 °C	240 °C
500/1000/1500/3000	125 °C	140 °C	155 °C	165 °C	190 °C	215 °C	235 °C	255 °C
250/500/750/1000	140 °C	160 °C	170 °C	180 °C	205 °C	230 °C	250 °C	270 °C

6.4.2 Recommended liquid ageing temperatures

Liquid ageing temperature should be at least 15 % above the highest acceptable operating temperature for the equipment being modelled. However, it shall not exceed a temperature at least 10 % below the flash-point of the liquid. If the former temperature cannot be attained for risk reasons, then the best safe temperature should be used.

6.4.3 Reference EIS ageing temperatures

For the purposes of this technical specification, the selected reference EIS is stated as Kraft cellulose paper and mineral oil, for use in power transformers, and shall be aged according to 6.2.1. That is:

- conductor with Kraft cellulose insulation: 160 °C
- mineral oil per IEC 60296: 115 °C

Additional equipment reference test objects shall be determined as a result of the complete test.

Age the three reference test cells under the above established times and temperatures. Remove and evaluate samples of the liquid and solid materials for diagnostic testing.

6.4.4 Procédure de vieillissement du SIE candidat

Vieillir les neuf cellules d'essai candidates selon le Tableau 1 de 6.4.1.

Les temps de vieillissement des cellules d'essai candidat doivent être choisis de manière à fournir un plus grand nombre possible de prélèvements d'échantillons statistiques en fin d'essai; c'est-à-dire: une cellule évaluée à la première période de vieillissement, deux cellules évaluées en seconde période et trois cellules aux troisième et quatrième périodes de vieillissement. La troisième et la quatrième période de vieillissement peuvent être ajustées en se basant sur les données obtenues aux deux premiers points.

A la fin de chaque période de vieillissement, prélever et évaluer les échantillons des matériaux liquides et solides pour l'essai de diagnostic complémentaire. Un jugement doit être effectué quant à la condition et au volume de liquide restant dans chaque cellule. Les données d'essai doivent être enregistrées.

6.5 Essai de fin de vie

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

- tenue en traction;
- force de compression;
- tenue diélectrique du solide;
- tenue diélectrique du liquide;
- facteur de perte du liquide ($\tan \delta$);
- indice d'acidité du liquide.

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

7 Analyse des données

7.1 Critère de fin de vie

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 le claquage 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 difficiles. Il est recommandé qu'un seul critère de fin de vie soit utilisé pour chaque composant de l'éprouvette (solide/liquide). Le CE de l'équipement pour le SIE modélisé doit définir le critère de fin de vie spécifique.

7.1.1 Fin de vie du composant liquide

Le CE de l'équipement approprié doit choisir les critères de fin de vie acceptés; par exemple, la dégradation de la tenue diélectrique au-dessous de la limite acceptable d'exploitation. Dans le cas de l'huile minérale, les valeurs devant être considérées sont celles désignées dans la CEI 60422, selon la catégorie d'équipement considéré.

7.1.2 Fin de vie du composant solide

Le critère de fin de vie accepté pour l'isolation solide doit être la dégradation à 50 % de la valeur originale de la propriété choisie en 6.5.

6.4.4 Ageing procedures of the EIS candidate

Age the nine candidate test cells according to Table 1 of 6.4.1.

Ageing times of the candidate test cells shall be selected in a way that provides a larger statistical sampling at the end-points; i.e., one cell tested at the first ageing period, two cells tested at the second ageing period, and three cells each tested at the third and fourth ageing periods. The third and fourth ageing periods may be adjusted based on the data obtained from the first two points.

At the end of each period, remove and evaluate samples of the liquid and solid materials for diagnostic testing. A judgement shall be made relative to the condition and volume of liquid remaining in each cell. The test data shall be recorded.

6.5 End-point testing

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

- tensile strength;
- compression strength;
- solid dielectric strength;
- liquid dielectric strength;
- liquid loss factor ($\tan \delta$);
- liquid acid neutralization number.

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

7 Analysis of data

7.1 End-point criteria

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). The equipment TC for the EIS being modelled shall define the specific end-point criterion.

7.1.1 End of life of the liquid component

The relevant equipment TC shall select the accepted end-point criteria; for example, the degradation of the dielectric strength below the acceptable operating limit. In the case of mineral oil, the values to be considered are those pointed out in IEC 60422, according to the category of equipment considered.

7.1.2 End of life of the solid component

The accepted end-point criterion for the solid insulation shall be degradation to 50 % of the original value of the property selected according to 6.5.

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 vie, en heures, à chaque température de vieillissement doit être calculée selon la CEI 60216-3.

NOTE Il n'y a aucune évaluation exigée pour la vie moyenne du liquide.

7.1.3 Extrapolation des données

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

7.2 Rapport

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

- la référence à la présente norme d'essai CEI;
- la description du SIE évalué (SIE de référence et SIE candidat);
- les températures de vieillissement et périodes de vieillissement de chaque SIE;
- les essais de diagnostic et les critères de fin de vie utilisés pour chaque SIE;
- la description détaillée des éprouvettes (incluant les proportions volumétriques);
- 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.

L'essai de vieillissement en points multiples doit 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'indice de température et/ou la classe thermique du composant solide du système d'isolation électrique de référence;
- l'indice de température relatif et/ou la classe thermique du composant solide du système d'isolation électrique candidat.