

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
34-18-22**

Première édition
First edition
1996-03

Machines électriques tournantes –

**Partie 18: Evaluation fonctionnelle des
systèmes d'isolation –**

**Section 22: Procédures d'essai pour
enroulements à fils – Classification des
modifications et des substitutions de
composants d'isolation**

Rotating electrical machines –

**Part 18: Functional evaluation of
insulation systems –**

**Section 22: Test procedures for wire-wound
windings – Classification of changes and
insulation component substitutions**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 34-18-22: 1996

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 2
TECHNICAL
REPORT – TYPE 2**

**CEI
IEC
34-18-22**

Première édition
First edition
1996-03

Machines électriques tournantes –

**Partie 18: Evaluation fonctionnelle des
systèmes d'isolation –**

**Section 22: Procédures d'essai pour
enroulements à fils – Classification des
modifications et des substitutions de
composants d'isolation**

Rotating electrical machines –

**Part 18: Functional evaluation of
insulation systems –**

**Section 22: Test procedures for wire-wound
windings – Classification of changes and
insulation component substitutions**

© CEI 1996 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 pro-
cédé, 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

N

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Généralités	12
3.1 Composants d'isolation de catégorie I	12
3.2 Composants d'isolation de catégorie II	12
3.3 Définition de l'identité générique	12
4 Documentation	14
5 Procédures générales de substitution	14
6 Catégorie de substitution de composant	16
6.1 Substitution de composant de catégorie I	16
6.2 Substitution de composant de catégorie II	20
7 Procédure d'essai avec tube scellé	20
7.1 Généralités	20
7.2 Matériel d'essai	20
7.3 Préparation de l'échantillon	22
7.4 Contenu des tubes	22
7.5 Préparation des tubes	22
7.6 Conditionnement thermique	24
7.7 Procédure d'ouverture	24
7.8 Evaluation des échantillons	24
7.9 Condition requise	26
Annexe A – Bibliographie	28

CONTENTS

	Page
FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	9
Clause	
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 General.....	13
3.1 Category I insulation components.....	13
3.2 Category II insulation components.....	13
3.3 Definition of generic identity	13
4 Documentation.....	15
5 General substitution procedures	15
6 Component substitution category	17
6.1 Category I component substitution.....	17
6.2 Category II component substitution.....	21
7 Sealed tube test procedure	21
7.1 General.....	21
7.2 Test apparatus	21
7.3 Sample preparation.....	23
7.4 Contents of tubes.....	23
7.5 Preparation of tubes.....	23
7.6 Thermal conditioning.....	25
7.7 Opening procedure.....	25
7.8 Evaluation of samples	25
7.9 Requirement	27
Annexe A – Bibliography	29

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Section 22: Procédures d'essai pour enroulements à fils – Classification des modifications et des substitutions de composants d'isolation

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 comité d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, 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;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 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. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

**Part 18: Functional evaluation of insulation systems –
Section 22: Test procedures for wire-wound windings –
Classification of changes and insulation component substitutions**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard 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 report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example “state of the art”.

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the date they provide are considered to be no longer valid or useful.

La CEI 34-18-22, rapport technique de type 2, a été établie par le sous-comité 2J: Classification des systèmes d'isolation des machines tournantes, du comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de Comité	Rapport de vote
2J/40	2J/45

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

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.4.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO comme «norme prospective d'application provisoire»). Il couvre les procédures d'essai pour l'évaluation thermique et la classification des modifications et des substitutions de composants d'isolation dans les systèmes d'isolation. Il est urgent d'avoir des indications sur la meilleure façon d'utiliser les normes dans ce domaine afin de répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en oeuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

IEC 34-18-22, which is a technical report of type 2, has been prepared by subcommittee 2J: Classification of insulation systems for rotating machinery, of IEC technical committee 2: Rotating machinery.

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

Committee draft	Report on voting
2J/40	2J/45

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

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.4.2.2 of Part 1 of the IEC/ISO Directives) as a “prospective standard for provisional application”. It covers the test procedures for the thermal evaluation and classification of changes and insulation component substitutions in insulation systems. There is an urgent requirement for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an “International Standard”. It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this type 2 technical report will be carried out not later than three years after its publication, with the options of either extension for a further three years or conversion to an International Standard or withdrawal.

Annex A is for information only.

INTRODUCTION

La section 1 de la CEI 34-18 présente des principes directeurs généraux pour l'évaluation et la classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines électriques tournantes. Sauf stipulation contraire dans les procédures de la présente section, il convient de suivre les principes de la CEI 34-18-1.

La section 21 traite de l'évaluation thermique et de la classification des systèmes d'isolation pour enroulements à fils en ce qui concerne les procédures normales auxquelles il est fait référence en 5.3.2.1 de la CEI 34-18-1.

La présente section 22 traite des procédures de vérification des effets causés par des changements dans les systèmes d'isolation pour enroulements à fils, couvertes par le paragraphe 5.3.2.2 de la CEI 34-18-1.

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC TS 60034-18-22:1996

INTRODUCTION

Section 1 of IEC 34-18 presents general principles for evaluation and classification of insulation systems used in rotating electrical machines. Unless the procedures of this section indicate otherwise, the principles of 34-18-1 should be followed.

Section 21 deals with the thermal evaluation and classification of insulation systems for wire-wound windings in respect of normal procedures as referred to in 5.3.2.1 of IEC 34-18-1.

This section 22 is concerned with procedures of verification of the effects of changes in insulation systems for wire-wound windings covered by 5.3.2.2 of IEC 34-18-1.

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC TS 60034-18-22:1996

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Section 22: Procédures d'essai pour enroulements à fils – Classification des modifications et des substitutions de composants d'isolation

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique donne des procédures d'essai pour l'évaluation thermique et la classification des modifications et des substitutions de composants d'isolation dans les systèmes d'isolation que l'on utilise ou que l'on se propose d'utiliser dans un système d'isolation éprouvé utilisé dans les enroulements à fils. Les procédures d'essai sont comparatives puisque la performance d'un système d'isolation candidat est comparée à celle d'un système de référence dont l'expérience en service a été démontrée précédemment ou qui a été évalué au moyen de l'une des procédures données dans la CEI 34-18-21 et auquel la modification ou la substitution est destinée.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent rapport technique. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 34-18-21: 1992, *Machines électriques tournantes – Partie 18: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Section 21: Procédures d'essai pour enroulements à fils – Evaluation thermique et classification*

CEI 172: 1987, *Méthode d'essai pour la détermination de l'indice de température des fils de bobinage émaillés*

CEI 216, *Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques*

CEI 317: *Spécifications pour types particuliers de fils de bobinage*

CEI 1033: 1991, *Méthodes d'essai pour la détermination du pouvoir agglomérant des agents d'imprégnation sur fil émaillé*

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 18: Functional evaluation of insulation systems – Section 22: Test procedures for wire-wound windings – Classification of changes and insulation component substitutions

1 Scope

This technical report gives test procedures for the thermal evaluation and classification of changes and insulation component substitutions in insulation systems used or proposed for use in a proven insulation system used in wire-wound windings. The test procedures are comparative in that the performance of a candidate system is compared to that of a reference system which has previously been proved by experience or has been evaluated by one of the procedures given in IEC 34-18-21 and to which the change or substitution is intended.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this technical report. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision and parties to agreements based on this technical report are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 34-18-21: 1992, *Rotating electric machines – Part 18: Functional evaluation of insulation systems – Section 21: Test procedures for wire-wound windings – Thermal evaluation and classification*

IEC 172: 1987, *Test procedure for the determination of the temperature index of enamelled winding wires*

IEC 216, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials*

IEC 317, *Specifications for particular types of winding wires*

IEC 1033: 1991, *Test methods for the determination of bond strength of impregnating agents to an enamelled wire substrate*

3 Généralités

3.1 Composants d'isolation de catégorie I

3.1.1 Isolation entre phases et isolation par rapport à la masse

Isolation séparant les enroulements les uns des autres ou les séparant du circuit magnétique, par exemple caniveaux d'encoche. En revanche, les cales de fermeture ou la partie supérieure des remplissages d'encoche sont considérées comme des composants de catégorie II (voir 3.2).

3.1.2 Isolation de spire (conducteur)

Revêtement résineux (émail) ou isolation enroulée, fibreuse ou film, sur le fil de bobinage.

3.1.3 Vernis d'imprégnation

Ces vernis comprennent aussi bien les vernis qui contiennent des solvants que ceux qui en sont exempts.

3.1.4 Matériau d'enrobage

Isolation moulée ou coulée qui enrobe complètement le système d'isolation et qui constitue la seule barrière entre l'enroulement et la surface extérieure du moteur.

3.2 Composants d'isolation de catégorie II

Les composants de catégorie II comprennent tous les constituants d'un système d'isolation non couverts par 3.1 et répertoriés ci-après. Si l'organisme procédant aux essais souhaite considérer certains de ces composants comme appartenant à la catégorie I, il peut le faire.

- a) Isolation de l'enroulement série/parallèle utilisée dans les enroulements à plusieurs tensions.
- b) Isolation de l'enroulement principal et auxiliaire utilisée dans les moteurs monophasés. Cette isolation ne doit pas être considérée comme une isolation entre phases telle qu'elle est décrite en 3.1.1.

NOTE – Si l'isolation de l'enroulement conformément aux points a) ou b) ci-dessus est, en fonctionnement normal, contrainte comme une isolation entre phases, il faut alors qu'elle soit testée comme un composant de catégorie I.

- c) Isolation de couches: isolation intercalée entre des couches successives de fil isolé, dans le même enroulement (même phase).
- d) Gaines et tubes.
- e) Cales d'encoche et de fermeture.

NOTE – Si, en fonctionnement normal, la cale de fermeture est contrainte comme la cale d'encoche, il faut alors qu'elle soit testée comme un composant de catégorie I.

- f) Rubans de fixation et cordons de frettage.
- g) Isolation des connexions.

3.3 Définition de l'identité générique

L'identité générique englobe à la fois l'identité chimique et l'identité physique. La composition chimique doit être établie à partir de données analytiques qu'il convient de baser, par exemple, sur une analyse spectroscopique appropriée (infrarouge, etc.) complétée par des analyses de type thermogravimétrique, une analyse thermique différentielle (ATD) et une analyse de l'absorption atomique.

3 General

3.1 *Category I insulation components*

3.1.1 *Phase insulation and ground insulation*

Insulation separating the windings from each other or from the magnetic core, e.g. slot liners, but not wedges, closures or top of slot packers all of which are considered as Category II components (see 3.2).

3.1.2 *Turn (conductor) insulation*

The resinous (enamel) coating or wrapped insulation, fibrous or film, on winding wire.

3.1.3 *Impregnating varnishes*

These include both solvented and solventless varnishes.

3.1.4 *Encapsulant*

Moulded or cast insulation which completely encases the insulation system and which is the only barrier between the winding and the outer surface of the motor.

3.2 *Category II insulation components*

Category II components include any constituent of an insulation system not covered by 3.1, as listed below. If the testing organization wants to consider some of these components as category I insulation components, it may do so.

- a) Series/parallel winding insulation as used on multi-voltage windings.
- b) Auxiliary and main winding insulation as used on single-phase motors. This is not to be considered as phase insulation described in 3.1.1.

NOTE – If winding insulation according to item a) or b) above, is, in normal operation, stressed like phase insulation, then it must be tested as a category I component.

- c) Layer insulation: insulation which is interleaved between successive layers of insulated wire in the same winding (same phase).
- d) Sleeving and tubing.
- e) Slot wedges and closures.
NOTE – If, in normal operation, the closure is stressed like the slot liner, then it must be tested as a category I component.
- f) Securement tapes and tie-cords.
- g) Lead wire insulation.

3.3 *Definition of generic identity*

Generic identity embraces both chemical and physical identity. Chemical composition shall be established from analytical data which should, for instance, be based on appropriate spectroscopic analysis (IR, etc.) complemented with thermogravimetric, DTA and atomic absorption analysis.

L'identité physique doit être établie par des essais mécaniques et électriques appropriés au composant considéré. L'analyse thermique différentielle peut compléter ces essais.

Pour plusieurs propriétés, comme $\tan \delta$ et le module, l'influence de la température peut compléter à la fois la description chimique et la description physique.

Lorsque l'élément isolant se compose de plus d'un matériau, par exemple un adhésif laminé collé, un matériau d'enrobage chargé ou un fil de bobinage à double couche, l'identité générique doit être établie séparément pour chaque matériau de l'élément considéré. Dans le cas d'un composant chargé, les quantités relatives de charge et de matériau polymère doivent être identiques dans le matériau candidat et dans le matériau de référence.

L'identité physique doit être établie au moyen d'essais mécaniques et électriques appropriés au composant.

4 Documentation

Les informations suivantes doivent être obtenues pour tout matériau de substitution proposé:

- a) analyse chimique détaillée;
- b) fournisseur et référence;
- c) épaisseur;
- d) endurance thermique, avec l'indice de température et la norme ou spécification applicable, par exemple:
 - 1) CEI 317 pour le fil de bobinage,
 - 2) tension assignée, modèle ou type pour le conducteur.

Les mêmes informations sont également requises pour le système de référence.

5 Procédures générales de substitution

Les procédures d'essai à suivre pour toute substitution particulière dépendent de la substitution spécifique considérée. Ces procédures figurent à l'article 6.

Toute substitution effectuée dans un système d'isolation doit être classée comme substitution correspondant à la procédure A, B, C ou D. L'action requise pour la validation de chaque procédure est précisée ci-après.

NOTE – Les procédures A, B et C sont considérées comme des prescriptions minimales. A la discrétion de l'organisme procédant aux essais, la procédure D peut être utilisée à la place des procédures A, B ou C.

Procédure A

Si les informations permettent au consultant d'établir l'identité générique conformément à 3.3, les données de documentation décrites à l'article 4 sont suffisantes pour accepter la substitution sans essai.

Procédure B

Modification nécessitant une procédure d'essai avec tube scellé (voir article 7).

Physical identity shall be established by mechanical and electrical tests appropriate to the component. DTA analysis can complement these tests.

For several properties, like $\tan \delta$ and modulus, dependence on temperature may complement both the chemical and physical picture.

Where the insulation component is made from more than one material, e.g. an adhesive bonded laminate, a mineral filled encapsulant or a dual coat winding wire, generic identity shall be established with respect to each material of the component separately. In the case of a filled component, the relative amounts of filler and polymeric material shall be the same in both candidate and reference material.

Physical identity shall be established by mechanical and electrical tests appropriate to the component.

4 Documentation

The following information shall be obtained for any proposed substitution material:

- a) detailed chemical analysis;
- b) supplier and reference;
- c) thickness;
- d) thermal endurance, such as temperature index, and relevant standard or specification, e.g.:
 - 1) IEC 317 type for winding wire,
 - 2) voltage rating, style or type for lead wire.

The same information is also required for the reference system.

5 General substitution procedures

The test procedures to be followed for any particular substitution depend on the specific substitution involved. These are in clause 6.

Any substitution to an insulation system shall be classified as a substitution procedure A, B, C or D. The action required in respect of validation for each procedure is listed below.

NOTE – Procedures A, B, and C are considered minimum requirements. At the discretion of the testing organization, procedure D may be used in place of procedures A, B, or C.

Procedure A

If the data enables the investigator to establish the generic identity according to 3.3, documentation data as described in clause 4 is sufficient to accept substitution without test.

Procedure B

Change requiring sealed tube test procedure (see clause 7).

Procédure C

Modification nécessitant un programme avec un point unique de température utilisant une procédure choisie dans la CEI 34-18-21, par exemple la procédure avec motorette.

Procédure D

Modification nécessitant une procédure d'essai complète avec trois températures, telle que la procédure spécifiée dans la CEI 34-18-21.

Les substitutions de composants spécifiques sont affectées à l'une des catégories ci-dessus à l'article 6.

6 Catégorie de substitution de composant

6.1 Substitution de composant de catégorie I

6.1.1 Isolation entre phases et isolation par rapport à la masse

6.1.1.1 Génériquement identique et d'épaisseur identique ou supérieure

La procédure A est applicable.

6.1.1.2 Génériquement identique mais plus mince

La procédure C est applicable.

6.1.1.3 Génériquement différent

La procédure D est applicable.

6.1.2 Isolation de spire (conducteur), c'est-à-dire fil de bobinage

6.1.2.1 Fil non agglomérable

a) Lorsque le revêtement d'isolation du matériau de substitution est génériquement identique à l'original, et lorsqu'il est conforme à la même partie de spécification de la CEI 317 ou à une partie ayant une classe de température supérieure:

la procédure A est applicable.

b) Pour d'autres substitutions:

la procédure D est applicable.

6.1.2.2 Fil agglomérable

a) Lorsque le revêtement d'isolation du matériau de substitution est génériquement identique à l'original et lorsqu'il est conforme à la même partie de spécification de la CEI 317 ou à une partie ayant une classe de température supérieure:

la procédure A est applicable.

b) Lorsque le fil de substitution agglomérable ne satisfait pas aux conditions données en 6.1.2.2 a):

la procédure D est applicable.

Procedure C

Change requiring a single temperature ongoing programme using a procedure, e.g. motorette procedure, selected from IEC 34-18-21.

Procedure D

Change requiring a full three-temperature test procedure as required by IEC 34-18-21.

Specific component substitutions are assigned to one of the above categories in clause 6.

6 Component substitution category

6.1 Category I component substitution

6.1.1 Phase insulation and ground insulation

6.1.1.1 Generically identical, the same or increased thickness

Procedure A applies.

6.1.1.2 Generically identical but thinner

Procedure C applies.

6.1.1.3 Generically different

Procedure D applies.

6.1.2 Turn (conductor) insulation i.e. winding wire

6.1.2.1 Non-bondable wire

a) Where the insulation coating of the substitute material is generically identical with the original and where it conforms to the same IEC 317 specification part or to one with a higher temperature class number, then:

procedure A applies.

b) for other substitution:

procedure D applies.

6.1.2.2 Bondable wire

a) Where the insulation coating of the substitute material is generically identical with the original and where it conforms to the same IEC 317 specification part or to one with a higher temperature class number, then:

procedure A applies.

b) Where the substitute bondable wire does not comply with 6.1.2.2 a):

procedure D applies.

6.1.2.3 *Fil d'aluminium au lieu de fil de cuivre*

Les résultats des essais de vieillissement thermique avec un système d'isolation contenant un fil de bobinage en cuivre sont applicables à un système identique mais contenant un fil en aluminium. En conséquence, lorsqu'un fil d'aluminium remplace un fil de cuivre, avec le même revêtement d'isolation générique et une classe de température identique ou supérieure:

la procédure A est applicable.

6.1.2.4 *Modification apportée au revêtement supérieur à simple couche*

Lorsque la seule modification apportée à un fil de bobinage concerne le passage d'un revêtement à simple couche à un revêtement à double couche, en conservant le même revêtement de base déjà éprouvé:

les procédures B et C ou D sont applicables.

6.1.3 *Vernis ou résine d'imprégnation*

Les index de température, tant pour le vernis de substitution que pour le vernis utilisé dans le système éprouvé, doivent être déterminés par analyse des données des essais de vieillissement thermique réalisés par les fabricants et spécifiés au tableau 1.

Tableau 1 – Méthodes d'essais de vieillissement thermique des vernis

Méthode d'essai	Désignation CEI
Bobine hélicoïdale	CEI 1033 * CEI 216 en utilisant l'essai de bobine hélicoïdale comme essai de diagnostic, conformément à la CEI 1033
Paires torsadées vernies	CEI 172
* La classe de température doit être déterminée en se basant sur un point de fin de vie de 22 N.	

Les deux essais doivent être effectués. Seules les données provenant du même essai doivent être comparées.

6.1.3.1 *Vernis de substitution d'un index de température égal ou supérieur*

L'index de température du verni doit être déterminé conformément à 6.1.3. Les procédures B ou C sont applicables.

6.1.3.2 *Vernis de substitution avec un ou deux index de température inférieur(s) d'un index au plus*

L'index de température du verni doit être déterminé conformément à 6.1.3. Soit la procédure C est applicable, soit on applique la procédure B ainsi que l'essai de la CEI 172 avec paires torsadées du fil de bobinage verni génériquement identique à celui utilisé dans le système d'isolation. L'index de température de la paire torsadée vernie déterminé par l'essai de vieillissement ne doit pas être inférieur à celui obtenu avec le revêtement du fil de bobinage non verni. Les deux index de température doivent être basés sur une intersection à 20 000 h.

6.1.3.3 *Vernis de substitution avec un ou deux index de température inférieur(s) de plus d'un index*

L'index de température du verni doit être déterminé conformément à 6.1.3. La procédure D est applicable.

6.1.2.3 Aluminum instead of copper wire

Thermal ageing test results on an insulation system containing copper winding wire are applicable to an otherwise identical system containing aluminum wire. Hence, substituting an aluminium wire for a copper wire with the same generic insulation coating having the same or higher temperature index number:

procedure A applies.

6.1.2.4 Change to single layer top coat

Where the only change to a winding wire is going from single coating to dual coated wire keeping the same proven base coat:

procedures B and C or D apply.

6.1.3 Impregnating varnish or resin

The temperature indexes of both the substitute varnish and the varnish used in the proven system shall be determined by analysis of the varnish manufacturer's thermal ageing data for the tests specified in table 1.

Table 1 – Thermal ageing test methods for varnish

Test method	IEC designation
Helical coil	IEC 1033 * IEC 216 using helical coil test according to IEC 1033 as diagnostic test
Varnished twisted pairs	IEC 172
* Temperature index is to be determined based on a 22 N end-point.	

Both tests must be carried out. Only data from the same test shall be compared.

6.1.3.1 Substitute varnish of equal or greater temperature index

Temperature index of the varnish shall be determined according to 6.1.3. Procedure B or C applies.

6.1.3.2 Substitute varnish with one or both temperature indexes not more than one temperature index step lower

Temperature index of the varnish shall be determined according to 6.1.3. Either procedure C applies, or procedure B + twisted pair test of varnished winding wire (refer to IEC 172) which is generically identical to that used in the insulation system. The temperature index of the varnished twisted pair as determined from the ageing test shall be no lower than that of the unvarnished winding wire coating. Both temperature indexes shall be based on a 20 000 h intercept.

6.1.3.3 Substitute varnish with one or both temperature indexes more than one temperature index step lower

Temperature index of the varnish shall be determined according to 6.1.3. Procedure D applies.

6.1.4 *Matériau d'enrobage*

6.1.4.1 *Génériquement identique*

La procédure A est applicable.

6.1.4.2 *Génériquement différent*

La procédure D est applicable.

6.2 *Substitution de composant de catégorie II*

6.2.1 *Substitution génériquement identique*

Voir le paragraphe 3.3 relatif à la définition de l'identité générique.

Si le matériau de substitution est génériquement identique:
la procédure A est applicable.

6.2.2 *Substitution génériquement différente*

Les procédures B ou C sont applicables.

7 **Procédure d'essai avec tube scellé**

7.1 *Généralités*

La procédure fait référence à des substitutions correspondant à la procédure B.

Des échantillons de paires torsadées préparées conformément à la CEI 172 doivent être soumis à la procédure d'essai avec tube scellé décrite de 7.2 à 7.7, suivie d'un essai de claquage électrique entre les fils torsadés (voir 7.8).

Des tubes scellés séparés doivent être préparés pour les composants de référence et de substitution comme indiqué en 7.3.

Si un matériau de substitution n'est pas validé lors de cet essai, la procédure d'essai définie au titre des procédures C ou D de l'article 5 peut être appliquée: dans ce cas, cette dernière procédure aura priorité.

7.2 *Matériel d'essai*

Le matériel d'essai doit comprendre

- a) une étuve capable de maintenir une température jusqu'à $260\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$;
- b) des tubes de verre ayant un volume intérieur ne dépassant pas 900 ml et une longueur minimale de 300 mm. Deux types généraux sont décrits comme suit:
 - 1) les tubes de verre bridés pour haute température, qui sont conçus pour être scellés au moyen d'anneaux de métal et de joints, et qu'il est préférable d'utiliser;
 - 2) les tubes de verre pouvant être scellés par fusion, après adjonction de tous les matériaux, qui sont une solution de remplacement acceptable.
- c) un matériau d'étanchéité pour les tubes à brides: hexafluoropropylène-fluorure de vinylidène. Pour un système dont la température assignée est de 155 °C ou plus, un fluorocarbène de type TFE ou FEP doit être utilisé.

Une clé dynamométrique ayant une capacité maximale de 11,3 Nm doit être disponible.

6.1.4 *Encapsulant*

6.1.4.1 *Generically identical*

Procedure A applies.

6.1.4.2 *Generically different*

Procedure D applies.

6.2 *Category II component substitution*

6.2.1 *Generically identical substitution*

See 3.3 with respect to definition of generic identity.

If substitute material is generically identical:

procedure A applies.

6.2.2 *Generically different substitution*

Procedure B or C applies.

7 **Sealed tube test procedure**

7.1 *General*

The procedure relates to procedure B substitutions.

Samples of twisted pair winding wire prepared in accordance with IEC 172 shall be subjected to the sealed tube test procedure, described in 7.2 to 7.7, followed by an electrical breakdown test between twisted wires, see 7.8.

Separate reference and substitute component sealed tubes shall be prepared as described in 7.3.

If a substitute material is not validated in this test, the test procedure defined under procedure C or D of clause 5 may be applied, in which case this latter procedure shall take precedence.

7.2 *Test apparatus*

The test apparatus shall consist of the following:

- a) an oven capable of maintaining a temperature of up to $260\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$.
- b) glass tubes with inside volume not exceeding 900 ml and a minimum of 300 mm in length. Two general types are described as follows:
 - 1) flanged high temperature glass tubes which are designed to be sealed with metal rings and gaskets are preferred;
 - 2) glass tubes which can be fusion sealed after the addition of all materials are an acceptable alternative.
- c) Gasket material for flanged steel tubes: hexafluoropropylene-vinylidene fluoride. For a system rated 155 °C or higher, type TFE or FEP fluorocarbon shall be used.

A torque wrench having a capacity of 11,3 Nm maximum shall be available.

7.3 Préparation de l'échantillon

Les échantillons préparés pour chaque tube doivent comprendre les échantillons suivants:

a) échantillons de fils de bobinage

Paires torsadées formées et essayées conformément à la CEI 172.

NOTE – Il convient que les fils de bobinage recouverts de matériaux fibreux soient essayés avec des éléments dont la partie droite a 230 mm de longueur.

Cinq échantillons de fils de bobinage doivent être évalués pour chaque groupe de référence et de substitution.

b) échantillons de composant isolant

Les composants, tels que vernis d'imprégnation, conducteur, encoche, isolation de couche ou isolation par rapport à la masse, cordon de fretage, ruban et tube, doivent avoir une surface au moins égale à 645 mm² pour tous les matériaux en plaques; une longueur au moins égale à 25,4 mm pour les conducteurs, gaines et cordons de fretage; un volume au moins égal à 800 mm³ pour les composants d'enrobage et d'encapsulage. Si un vernis d'imprégnation est utilisé dans le système, il doit être appliqué aux échantillons de fils de bobinage et traité conformément aux spécifications du fabricant.

7.4 Contenu des tubes

Le contenu des tubes doit être comme suit.

a) Tube de référence

Ce tube doit contenir uniquement les matériaux qui ont été utilisés dans le système d'isolation original.

b) Tube du composant de substitution

Chaque tube de composant de substitution doit contenir le matériau de substitution, ainsi que tous les matériaux et solutions de remplacement habituellement employés dans le système d'isolation et pouvant être utilisés avec le matériau de substitution. Les matériaux de remplacement qui généralement ne sont pas utilisés conjointement ou qui ne peuvent pas l'être, tels que les vernis de remplacement, doivent être testés individuellement dans un tube séparé, préparé comme indiqué ci-dessus. L'ensemble des tubes utilisés pour l'évaluation de composants nouveaux ou de composants de substitution doit représenter toutes les combinaisons possibles de matériaux pouvant être réalisées dans la fabrication d'un système d'isolation.

7.5 Préparation des tubes

La préparation des tubes doit se faire de la manière suivante.

a) Les tubes doivent être remplis avec un solvant efficace, tel que l'acétone, pendant une période de 24 h au moins, puis nettoyés soigneusement avec un détergent et une brosse à éprouvette, et rincés avec soin: deux fois dans de l'eau du robinet, puis dans de l'eau distillée, et finalement séchés.

b) Les tubes, joints, robinets, écrous et boulons doivent être conditionnés pendant 1 h dans une étuve maintenue à 105 °C ± 2 °C, puis retirés et laissés à refroidir.

c) Les paires torsadées doivent être préparées comme indiqué en 7.3 a) et soumises à un essai électrique conformément à la CEI 172 avant insertion dans les tubes. Les matériaux doivent ensuite être positionnés dans les tubes, en évitant, si possible, tout contact avec le fil, de manière qu'il n'y ait pas de phénomène d'adhérence pendant la période de vieillissement. Les tubes en verre ouverts doivent être scellés à l'une des extrémités avant d'être remplis.

7.3 Sample preparation

The samples for each tube shall include the following:

a) winding-wire samples

Twisted pairs of wire formed and tested in accordance with IEC 172.

NOTE – Winding-wire covered with fibrous material should be tested in 230 mm long straight lengths.

Five winding-wire samples shall be evaluated for each reference and substitute group.

b) insulating component samples

Components, such as impregnating varnish, lead cable, slot, layer or ground insulation, tie cord, tape and tubing, shall be not less than 645 mm² insurface area for any sheet material; 25,4 mm length for lead wire, sleeving, and tie cords; 800 mm³ in volume for potting compounds and encapsulants. If an impregnating varnish is used in the system it shall be applied to the winding-wire samples and cured in accordance with the manufacturer's specifications.

7.4 Contents of tubes

The contents of the tube shall be as follows:

a) Reference tube

The tube shall contain only materials which were employed in the original insulation system.

b) Substitute component tube

Each substitute component tube shall contain the substitute material plus all the material and alternates currently employed in the insulation system which can be used with the substitute material. Alternate materials which are not usually or cannot be used in combination with each other, such as alternate varnishes, are each to be tested in a separate tube made up as above. The aggregate of tubes used for the evaluation of new or substitute components shall represent all possible combinations of materials as they may appear in the construction of an insulation system.

7.5 Preparation of tubes

The preparation of tube assemblies shall be as follows.

a) The tubes shall be filled with an effective solvent, such as acetone, for 24 h or longer, scrubbed well with detergent and a test-tube brush, rinsed thoroughly: twice in tap water and then in distilled water, and finally dried.

b) The tubes, gaskets, taps, nuts and bolts shall be conditioned for 1 h in an oven maintained at 105 °C ± 2 °C and shall then be removed from the oven and allowed to cool.

c) The twisted pairs of wire shall be prepared in accordance with 7.3 a) and proof-tested electrically according to IEC 172 before insertion into the tubes. The component materials shall then be positioned inside the tubes, avoiding contact with the wire if possible, so that there is no sticking during the ageing period. Open glass tubes shall be sealed at one end before being filled.

- d) Une fois les tubes remplis, les tubes, joints, robinets, écrous et boulons doivent être séchés pendant 1 h dans une étuve maintenue à $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Si des tubes en verre ouverts sont utilisés, la température de l'étuve doit être de $135\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Les matériaux qui ne sont pas suffisamment séchés à $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ doivent être séchés pendant 1 h à la température de conditionnement du système avant d'être placés dans les tubes. Les boulons, filetages et le dessous de la partie supérieure doivent être légèrement enduits de graisse de silicone avant d'être placés dans l'étuve et tous ces éléments doivent être gardés à l'écart du matériau d'étanchéité et des tubes.
- e) Dès leur sortie de l'étuve, on doit fixer le matériau d'étanchéité et la bride de fixation sur le tube en utilisant des gants de protection, ou l'extrémité du tube doit être scellée par fusion. Si des tubes de verre ouverts sont utilisés, l'extrémité ouverte doit être scellée par fusion.
- f) Chaque boulon doit être serré dans le sens des aiguilles d'une montre, par paliers de 0,5 Nm, jusqu'à atteindre 3,5 Nm.
- g) A moins que des tubes de verre ouverts ne soient utilisés, l'assemblage doit être immédiatement renversé dans de l'eau chaude afin de réduire les risques de choc et de rupture. L'assemblage doit rester dans l'eau pour y refroidir pendant au moins 5 min. Le phénomène de refroidissement crée un vide dans le tube qui permet l'infiltration de l'eau s'il existe une fuite. Si des tubes de verre ouverts sont utilisés, chaque tube doit être remis dans l'étuve, qui doit alors être éteinte, afin de permettre un refroidissement jusqu'à la température ambiante.
- h) Les tubes doivent être sortis de l'étuve, mis à refroidir jusqu'à la température ambiante et examinés afin de détecter toute trace de fuite éventuelle, qui serait mise en évidence par de la condensation sur la paroi interne des tubes.
- i) L'étuve prérégulée qui est utilisée pour le cycle de conditionnement thermique (voir 7.6) doit être éteinte et doit avoir retrouvé la température ambiante avant que les tubes y soient placés. Après sa mise en marche, l'étuve ne doit pas être ouverte car le choc thermique provoqué par l'ouverture d'une étuve chaude pourrait provoquer une rupture des tubes.

7.6 Conditionnement thermique

Les échantillons doivent être conditionnés pendant 336 h (14 jours) à une température égale à la classe assignée du système plus $25\text{ }^{\circ}\text{C}$; par exemple, la température pour la classe 130 sera de $155\text{ }^{\circ}\text{C}$.

7.7 Procédure d'ouverture

Après le conditionnement décrit en 7.6, l'étuve doit être laissée jusqu'à ce qu'elle retrouve la température ambiante avant que les tubes en soient retirés. Si l'évaluation des échantillons est retardée, les tubes doivent rester scellés, mais l'évaluation ne doit pas être reportée de plus de trois jours. Les tubes doivent alors être ouverts. Les échantillons de paires torsadées doivent être retirés des tubes et soigneusement séparés de manière à réduire les risques de détérioration mécanique.

7.8 Evaluation des échantillons

Les échantillons de fils de bobinage doivent être évalués de la façon suivante.

Les paires torsadées doivent être soumises à un régime de contraintes électriques jusqu'à la rupture, en augmentant la tension d'essai de 500 V par seconde. Les résultats obtenus pour les échantillons de substitution et de référence doivent alors être comparés. Toute valeur inférieure à 2500 V, 50/60 Hz alternatif, entraîne la nullité de l'essai pour l'échantillon.

- d) After the tubes are filled, the tubes, gaskets, taps, nuts and bolts shall be dried for 1 h in an oven maintained at 105 °C. If open glass tubes are used, the oven temperature shall be 135 °C. Material not sufficiently dried at 105 °C shall be dried for 1 h at the oven conditioning temperature of the system before being placed in the tubes. The bolts, threads, and the underside of the top shall be lightly coated with silicone grease before being placed in the oven, and these parts shall be kept away from the gasket material and tubes.
- e) Immediately upon removal from the oven, the gasket and clamp shall be assembled to the tube using protective gloves or the end of the tube shall be fused. If open glass tubes are used, the open end shall be fused.
- f) Each bolt shall be torqued in a clockwise direction in increments of 0,5 Nm until a torque of 3,5 Nm is attained.
- g) Unless open glass tubes are used, the assembly shall be inverted immediately in hot water to reduce the likelihood of shock and breakage. The assembly shall remain in the water and cool for a minimum of 5 min. The cooling creates a vacuum in the tube that will draw in water if a leak is present. If open glass tubes are used, each tube shall be returned to the oven which shall then be turned off and allowed to cool to room temperature.
- h) The tubes shall be removed and allowed to cool to room temperature and examined for possible leakage as evidenced by condensation on the inner wall of the tubes.
- i) The preset oven to be used for the thermal conditioning cycle (see 7.6) shall be turned off and allowed to cool to room temperature before the tubes are placed in the oven. After the preset oven has been turned on, it shall not be opened while hot as the thermal shock caused by opening of a hot oven may cause breakage of the tubes.

7.6 Thermal conditioning

The samples shall be conditioned for 336 h (14 days) at a temperature equal to the class rating of the system plus 25 °C; for example, the temperature for class 130 would be 155 °C.

7.7 Opening procedure

After being conditioned as described in 7.6, the oven shall be allowed to cool to room temperature before the tubes are removed. If evaluation of the samples is delayed, the tubes shall remain sealed, but evaluation shall not be delayed for longer than three days. The tubes shall then be opened. The twisted pair samples shall be removed from the tubes and carefully separated so as to reduce mechanical damage.

7.8 Evaluation of samples

The winding wire samples shall be evaluated as follows:

The twisted pairs shall be stressed until breakdown by increasing the test voltage at a rate of 500 V per second. The results for the substitute and reference samples shall be compared. Any single value less than 2500 V, 50/60 Hz, a.c. invalidates the test for that sample set.