

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
34-18-1**

Première édition
First edition
1992-02

**Evaluation fonctionnelle des systèmes
d'isolation des machines électriques
tournantes**

**Partie 1:
Principes directeurs généraux**

**Functional evaluation of insulation systems
for rotating electrical machines**

**Part 1:
General guidelines**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 34-18-1: 1992

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 électro-technique;*
- 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.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
34-18-1**

Première édition
First edition
1992-02

**Evaluation fonctionnelle des systèmes
d'isolation des machines électriques
tournantes**

**Partie 1:
Principes directeurs généraux**

**Functional evaluation of insulation systems
for rotating electrical machines**

**Part 1:
General guidelines**

© CEI 1992 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.

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

S

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

Publication 34-18-1 de la CEI
(première édition - 1992)

Evaluation fonctionnelle
des systèmes d'isolation des
machines électriques tournantes

Partie 1: Principes directeurs généraux

IEC Publication 34-18-1
(First edition - 1992)

Functional evaluation of
insulation systems for
rotating electrical machines

Part 1: General guidelines

CORRIGENDUM

*Remplacer le titre des pages couverture
par le suivant:*

Machines électriques tournantes

Partie 18: Evaluation fonctionnelle des
systèmes d'isolation

Section 1 – Principes directeurs généraux

*Remplacer, dans tout le reste de la
norme le mot «partie» par «section».*

Page 6

*Remplacer les six premières lignes par
les suivantes:*

La CEI 34-18 comprend plusieurs
sections:

Section 1: Principes directeurs généraux

Les sections 21, 22, 29 traiteront des
procédures d'essai pour enroulements à
fils.

Les sections 31, 32, ... 39 traiteront des
procédures d'essai pour enroulements
préformés.

*Replace the title of cover pages by the
following:*

Rotating electrical machines

Part 18: Functional evaluation of
insulation systems

Section 1 – General guidelines

*Replace in the whole text of the
standard the word "Part" by "Section".*

Page 6

*Replace the first six lines by the
following:*

IEC 34-18 comprises several sections:

Section 1: General guidelines

Sections 21, 22, ... 29 will deal with test
procedures for wire-wound windings.

Sections 31, 32, ... 39 will deal with test
procedures for form-wound windings.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-18-1:1992

Withdrawn

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Définitions	10
3.1 Termes généraux	10
3.2 Termes relatifs aux objets soumis aux essais	12
3.3 Termes relatifs aux facteurs d'influence	12
3.4 Termes relatifs aux essais et à l'évaluation	14
4 Aspects généraux de l'évaluation fonctionnelle	14
4.1 Effets des facteurs de vieillissement	14
4.2 Système d'isolation de référence	16
4.3 Essais fonctionnels	16
5 Essais fonctionnels thermiques	18
5.1 Aspects généraux des essais fonctionnels thermiques	18
5.2 Eprouvettes et échantillons	18
5.3 Procédures des essais fonctionnels thermiques	20
5.4 Sous-cycle de vieillissement thermique	26
5.5 Sous-cycle de diagnostic	26
5.6 Analyse, compte rendu et classification	30
6 Essais fonctionnels électriques	34
6.1 Aspects généraux des essais fonctionnels électriques	34
6.2 Eprouvettes	34
6.3 Procédures des essais fonctionnels électriques	34
6.4 Analyse et compte rendu	36
7 Essais fonctionnels mécaniques	36
8 Essais fonctionnels d'environnement	38
9 Essais fonctionnels à plusieurs facteurs	38
Figure	42
Annexe A - Références bibliographiques	44

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions	11
3.1 General terms	11
3.2 Terms relating to the objects being tested	13
3.3 Terms relating to factors of influence	13
3.4 Terms relating to testing and evaluation	15
4 General aspects of functional evaluation	15
4.1 Effects of ageing factors	15
4.2 Reference insulation system	17
4.3 Functional tests	17
5 Thermal functional tests	19
5.1 General aspects of thermal functional tests	19
5.2 Test objects and test specimens	19
5.3 Thermal functional test procedures	21
5.4 Thermal ageing sub-cycle	27
5.5 Diagnostic sub-cycle	27
5.6 Analyzing, reporting, and classification	31
6 Electrical functional tests	35
6.1 General aspects of electrical functional tests	35
6.2 Test objects	35
6.3 Electrical functional test procedures	35
6.4 Analyzing and reporting	37
7 Mechanical functional tests	37
8 Environmental functional tests	39
9 Multifactor functional tests	39
Figure	42
Annex A - Bibliographic references	45

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

EVALUATION FONCTIONNELLE DES SYSTÈMES D'ISOLATION DES MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES

Partie 1: Principes directeurs généraux

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la Règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente partie de la Norme internationale CEI 34-18 a été établie par le Sous-Comité 2J: Classification des systèmes d'isolation des machines tournantes, du Comité d'Etudes n° 2 de la CEI: Machines tournantes.

Le texte de cette partie est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
2J(BC)4	2J(BC)8

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**FUNCTIONAL EVALUATION OF INSULATION SYSTEMS FOR
ROTATING ELECTRICAL MACHINES****Part 1: General guidelines**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This part of International Standard IEC 34-18 has been prepared by Sub-Committee 2J: Classification of insulation systems for rotating machinery, of IEC Technical Committee No. 2: Rotating machinery.

The text of this part is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
2J(CO)4	2J(CO)8

Full information on the voting for the approval of this part can be found in the Voting Report indicated in the above table.

Annex A is for information only.

INTRODUCTION

La CEI 34-18 comprend plusieurs parties:

Partie 1: Principes directeurs généraux

Partie 2: Procédures d'essai pour enroulements à fils

Partie 3: Procédures d'essai pour enroulements préformés.

Les parties 2 et 3 sont par ailleurs divisées en sections traitant de différents types d'évaluation fonctionnelle.

La CEI 505 recense et définit tous les facteurs qui peuvent avoir une influence sur la durée de vie des isolations d'équipements électriques. Ces facteurs d'influence provoquant le vieillissement des isolations sont de nature thermique, électrique, mécanique et liée à l'environnement (conditions ambiantes).

La CEI 85 traite de l'endurance thermique des matériaux isolants et des systèmes d'isolation utilisés dans les équipements électriques. Cette norme établit, en particulier, les classes thermiques des systèmes d'isolation utilisés dans les machines tournantes comme A, E, B, F et H ainsi que les températures généralement associées à ces classes thermiques. Dans le passé, les matériaux utilisés pour la fabrication des systèmes d'isolation n'étaient souvent choisis que sur la base de l'endurance thermique des matériaux individuels. Toutefois, la deuxième édition de la CEI 85 admet que ce choix ne peut être utilisé que pour sélectionner les matériaux avant de procéder à une nouvelle évaluation fonctionnelle d'un nouveau système d'isolation, qui n'a pas encore fait ses preuves en service. Cette évaluation est liée à une expérience précédente en service effectuée grâce à l'utilisation d'un système d'isolation de référence ayant fait ses preuves en service, qui sert de base aux évaluations comparatives. L'expérience en service est la base recommandée pour évaluer l'endurance thermique d'un système d'isolation.

La CEI 611 décrit la méthodologie basée sur la relation linéaire d'Arrhenius (logarithme de la durée de vie en fonction de l'inverse de la température absolue) qui doit servir de guide lors de la préparation des procédures d'essai pour des types spécifiques de produits électrotechniques où le facteur de vieillissement thermique est considéré comme primordial.

La CEI 727 traite de l'évaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation.

La CEI 791 donne des directives pour l'évaluation des données résultant de l'expérience en service et des essais fonctionnels.

La CEI 792 décrit les principes généraux des essais d'endurance à plusieurs facteurs des systèmes d'isolation.

Différents facteurs d'influence peuvent prévaloir dans les diverses parties des enroulements d'une machine électrique (par exemple, isolation des spires et isolation des développantes). Différents critères peuvent donc être nécessaires pour évaluer ces parties de l'isolation. Il peut également être approprié d'appliquer des procédures différentes d'évaluation fonctionnelle de ces parties.

Les différences importantes observées dans les enroulements des machines électriques tournantes, en termes de dimension, tension et conditions d'exploitation, rendent nécessaire l'utilisation de différentes procédures d'évaluation fonctionnelle pour analyser les divers types d'enroulements. Ces procédures peuvent également être de complexités différentes, la plus simple étant basée sur un seul mécanisme de vieillissement (par exemple thermique ou électrique). Dans l'état actuel de la technique, seules les procédures des essais d'endurance thermique et électrique peuvent être spécifiées en détail. Les principes des essais fonctionnels mécaniques, d'environnement et à plusieurs facteurs sont brièvement décrits pour servir de base aux procédures qui devront être développées ultérieurement en fonction des besoins.

INTRODUCTION

IEC 34-18 comprises several parts:

Part 1: General guidelines

Part 2: Test procedures for wire-wound windings

Part 3: Test procedures for form-wound windings

Parts 2 and 3 are further divided into sub-parts, dealing with different types of functional evaluation.

IEC 505 recognizes and defines all of the factors which might influence the time to end of life of electrical equipment insulation. Those factors of influence causing ageing of the insulation are considered to be thermal, electrical, environmental (ambient), and mechanical.

IEC 85 deals with thermal evaluation of insulating materials and insulation systems used in electrical equipment. In particular, the thermal classes of insulation systems used in rotating machines such as A, E, B, F and H, as well as the temperatures usually associated with these thermal classes, are established in IEC 85. In the past, materials for insulation systems were often selected solely on the basis of thermal endurance of individual materials. However, the second edition of IEC 85 recognizes that such selection can be used only for screening materials prior to further functional evaluation of a new insulation system which is not service-proven. This evaluation is linked with earlier service experience through the use of a service-proven reference insulation system as the basis for comparative evaluation. Service experience is the preferred basis for assessing the thermal endurance of an insulation system.

IEC 611 describes the methodology based on the linear Arrhenius relationship (log life versus reciprocal absolute temperature), to be used as a guide in the preparation of test procedures for specific types of electromechanical products where the thermal ageing factor is considered to be dominant.

IEC 727 deals with evaluation of electrical endurance of insulation systems.

IEC 791 gives instructions for evaluation of data from service experience and from functional tests.

IEC 792 describes general principles for multi-factor functional testing of insulation systems.

In the winding of an electrical machine, different factors of influence may be dominant in different parts (e.g. turn insulation and end winding insulation). Therefore, different criteria may be necessary to assess these parts of the insulation. It may also be appropriate to apply different procedures of functional evaluation to these parts.

The large differences found in the rotating electrical machine windings, in terms of size, voltage and operating conditions, necessitate the use of different procedures of functional evaluation to evaluate various types of windings. These procedures may also be of different complexity, the simplest being based on a single ageing mechanism (e.g. thermal or electrical). In the present state of the art only thermal and electrical endurance testing procedures can be specified in some detail. Principles of mechanical, environmental and multifactor functional testing are briefly described to provide a basis for procedures to be developed later where appropriate.

EVALUATION FONCTIONNELLE DES SYSTÈMES D'ISOLATION DES MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES

Partie 1: Principes directeurs généraux

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 34-18 décrit les procédures d'évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation électrique utilisés ou que l'on se propose d'utiliser dans les machines électriques tournantes entrant dans le domaine d'application de la CEI 34-1 ainsi que la classification de ces systèmes d'isolation. Cette partie (Partie 1) donne des principes directeurs généraux relatifs à ces procédures et aux principes de classification; les parties suivantes décrivent les procédures détaillées pour les divers types d'enroulements.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 34-18. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 34-18 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 34-1: 1983, *Machines électriques tournantes - Première partie: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement.*

CEI 60-2: 1973, *Techniques des essais à haute tension - Deuxième partie: Modalités d'essais.*

CEI 85: 1984, *Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique.*

CEI 216-1: 1987, *Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques - Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement et à l'évaluation des résultats d'essai.*

CEI 216-2: 1974, *Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques - Deuxième partie: Liste des matériaux et des essais existants.*

CEI 216-3: 1980, *Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques - Troisième partie: Méthodes statistiques.*

CEI 216-4: 1980, *Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques - Quatrième partie: Instructions pour le calcul du profil d'endurance thermique.*

CEI 493-1: 1974, *Guide pour l'analyse statistique de données d'essais de vieillissement - Première partie: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués.*

FUNCTIONAL EVALUATION OF INSULATION SYSTEMS FOR ROTATING ELECTRICAL MACHINES

Part 1: General guidelines

1 Scope

This part of IEC 34-18 describes procedures for functional evaluation of electrical insulation systems used or proposed to be used in rotating electrical machines within the scope of IEC 34-1, and the classification of those insulation systems. This part (Part 1) provides general guidelines for such procedures and classification principles, whereas the subsequent parts give detailed procedures for the various types of windings.

2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 34-18. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 34-18 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 34-1: 1983, *Rotating electrical machines - Part 1: Rating and performance*.

IEC 60-2: 1973, *High-voltage test techniques - Part 2: Test procedures*.

IEC 85: 1984, *Thermal evaluation and classification of electrical insulation*.

IEC 216-1: 1987, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials - Part 1: General guidelines for ageing and evaluation of test results*.

IEC 216-2: 1974, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials - Part 2: List of materials and available tests*.

IEC 216-3: 1980, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials - Part 3: Statistical methods*.

IEC 216-4: 1980, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials - Part 4: Instructions for calculating the thermal endurance profile*.

IEC 493-1: 1974, *Guide for the statistical analysis of ageing test data - Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results*.

CEI 505: 1975, *Guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique.*

CEI 544-1: 1977, *Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants - Première partie: Interaction des rayonnements.*

CEI 544-2: 1979, *Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants - Deuxième partie: Méthode d'irradiation.*

CEI 544-3: 1979, *Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants - Troisième partie: Méthode d'essais pour la détermination des effets permanents.*

CEI 544-4: 1985, *Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants - Quatrième partie: Système de classification pour l'utilisation dans un environnement sous rayonnement.*

CEI 610: 1978, *Principaux aspects de l'évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation électrique: Mécanismes de vieillissement et procédures de diagnostic.*

CEI 611: 1978, *Guide pour la préparation de procédures d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des systèmes d'isolation électrique.*

CEI 727-1: 1982, *Evaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique -Première partie: Considérations générales et procédures d'évaluation basées sur une distribution normale.*

CEI 792-1: 1985, *Essais fonctionnels à plusieurs facteurs de systèmes d'isolation électrique - Première partie: Procédures d'essai.*

3 Définitions

Pour les besoins de cette Norme internationale, les définitions suivantes sont appliquées.

3.1 Termes généraux

3.1.1 température de classe: Température pour laquelle le système d'isolation est approprié, selon la définition de la classe thermique donnée dans la CEI 85.

3.1.2 système d'isolation: Matériau isolant, ou assemblage de matériaux isolants à considérer, en liaison avec les parties conductrices associées, tel qu'il est appliqué à un matériel électrique d'un type ou d'une taille donnés ou à l'une de ses parties (d'après la CEI 505).

NOTES

1 Les enroulements peuvent comporter plusieurs systèmes d'isolation, chacun étant conçu pour différentes contraintes en service, à savoir isolation entre spires, isolation d'encoche et isolation des développantes. Différents critères peuvent être appliqués aux divers composants formant le système global.

2 Un type de machine donné peut comporter plusieurs systèmes d'isolation différents. Ces systèmes peuvent avoir différentes classes thermiques (par exemple, enroulements stator et rotor).

3.1.3 système d'isolation candidat: Système d'isolation soumis aux essais pour déterminer sa tenue aux facteurs de vieillissement (par exemple, sa classe thermique).

IEC 505: 1975, *Guide for the evaluation and identification of insulation systems of electrical equipment*.

IEC 544-1: 1977, *Guide for determining the effects of ionizing radiation on insulating materials - Part 1: Radiation interaction*.

IEC 544-2: 1979, *Guide for determining the effects of ionizing radiation on insulating materials - Part 2: Procedures for irradiation*.

IEC 544-3: 1979, *Guide for determining the effects of ionizing radiation on insulating materials - Part 3: Test procedures for permanent effects*.

IEC 544-4: 1985, *Guide for determining the effects of ionizing radiation on insulating materials - Part 4: Classification system for service in radiation environments*.

IEC 610: 1978, *Principal aspects of functional evaluation of electrical insulation systems: Ageing mechanisms and diagnostic procedures*.

IEC 611: 1978, *Guide for the preparation of test procedures for evaluating the thermal endurance of electrical insulation systems*.

IEC 727-1: 1982, *Evaluation of electrical endurance of electrical insulation systems - Part 1: General considerations and evaluation procedures based on normal distributions*.

IEC 792-1: 1985, *The multi-factor functional testing of electrical insulation systems - Part 1: Test procedures*.

3 Definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions apply.

3.1 General terms

3.1.1 class temperature: The temperature for which the insulation system is suitable, as defined by the thermal class in IEC 85.

3.1.2 insulation system: An insulating material, or an assembly of insulating materials, to be considered in relation with associated conducting parts, as applied to a particular type or size or part of electrical equipment (according to IEC 505).

NOTES

1 There may be several insulation components within the windings, each being designed for different stresses in service, viz. turn insulation, slot insulation and end-winding insulation. Different criteria may be applied to the various components within the overall system.

2 There may be more than one insulation system in a particular type of machine. These insulation systems may have different thermal classes (e.g. stator and rotor windings).

3.1.3 candidate insulation system: The insulation system being tested to determine its capability with respect to ageing factors (e.g. its thermal class).

3.1.4 système d'isolation de référence: Système d'isolation dont les caractéristiques de fonctionnement ont été établies par une expérience en service satisfaisante.

3.1.5 bobine: Une ou plusieurs spires de conducteurs isolés connectées en série et entourées par une isolation commune disposée de façon à conduire ou à produire un flux magnétique.

3.1.6 barre: Moitié de bobinage préformé (voir 3.1.8) les deux moitiés étant raccordées après avoir été placées dans leurs encoches.

NOTE - Les grandes machines à courant alternatif sont communément équipées de barres; généralement, mais pas toujours, elles forment des bobines à une spire dans un enroulement à deux plans.

3.1.7 enroulement à fils: Enroulement composé de bobines qui sont constituées d'un ou plusieurs conducteurs isolés. La bobine est formée et isolée lorsqu'elle est enroulée et insérée dans son logement définitif. Il s'agit généralement d'un enroulement à fils de conducteurs ronds.

3.1.8 enroulement préformé: Enroulement composé de bobines préformées ou de barres qui sont préformées, isolées et pratiquement achevées avant d'être insérées dans leurs logements définitifs. Ces enroulements sont généralement réalisés à l'aide de conducteurs rectangulaires.

3.2 Termes relatifs aux objets soumis aux essais

3.2.1 éprouvette: L'unité soumise aux essais. Il peut s'agir d'une vraie machine, d'un composant d'une machine ou d'un modèle (voir 3.2.3, 3.2.4 et 3.2.5) qui peut être soumis à des essais fonctionnels (voir 3.4.2). Une éprouvette peut contenir un ou plusieurs échantillons (voir 3.2.2).

3.2.2 échantillon: Composant constitutif individuel d'une éprouvette que l'on peut utiliser pour obtenir un élément de données d'essai (par exemple la durée jusqu'à défaillance). Un échantillon peut contenir plus d'un composant d'isolation (par exemple, isolation entre spires et isolation entre conducteur et terre) et n'importe lequel de ces composants peut fournir cet élément de données.

3.2.3 modèle d'essai: Modèle représentatif d'une machine réelle ou d'une partie de celle-ci, destiné à être utilisé dans un essai fonctionnel (voir 3.4.2, conformément à la CEI 505).

3.2.4 formette: Modèle d'essai spécial utilisé pour l'évaluation des systèmes d'isolation pour enroulements préformés.

3.2.5 motorette: Modèle d'essai spécial utilisé pour l'évaluation des systèmes d'isolation pour enroulements à fils.

3.3 Termes relatifs aux facteurs d'influence

3.3.1 facteur d'influence: Contrainte ou influence de l'environnement qui peut agir sur les performances de l'isolation d'une machine pendant le service.

3.3.2 facteur de vieillissement: Facteur d'influence pouvant produire un vieillissement.

3.1.4 reference insulation system: An insulation system whose performance has been established by satisfactory service experience.

3.1.5 coil: One or more turns of insulated conductors connected in series and surrounded by common insulation, arranged to link or produce magnetic flux.

3.1.6 bar: One half of a form-wound coil (see 3.1.8), the two halves being joined after they have been placed in their slots.

NOTE - Large a.c. machines commonly use bars, and usually, though not always, they form single-turn coils in a two-layer winding.

3.1.7 wire-wound winding: A winding consisting of coils which are wound with one or several insulated conductors. The coil is formed and insulated when it is wound and inserted into its final place. It is usually random-wound with round conductors.

3.1.8 form-wound winding: A winding consisting of form-wound coils or bars which are preformed to shape, insulated and substantially completed before they are inserted into their final places. They are usually wound with rectangular conductors.

3.2 Terms relating to the objects being tested

3.2.1 test object: The unit being tested. It may be an actual machine, a machine component or a test model (see 3.2.3, 3.2.4 and 3.2.5), which can be subjected to functional tests (see 3.4.2). A test object may contain more than one test specimen (see 3.2.2).

3.2.2 test specimen: An individual component within a test object which can be used to generate one piece of test data (e.g. time to failure). A test specimen may contain more than one insulation component (e.g., turn insulation and conductor to earth insulation), any one of which may provide that piece of data.

3.2.3 test model: A model representative of the actual machine or part thereof intended for use in a functional test (see 3.4.2), according to IEC 505.

3.2.4 formette: A special test model used for the evaluation of the insulation systems for form-wound windings.

3.2.5 motorette: A special test model used for the evaluation of the insulation systems for wire-wound (random-wound) windings.

3.3 Terms relating to factors of influence

3.3.1 factor of influence: A stress or environmental influence which may affect the performance of insulation in the machine during service.

3.3.2 ageing factor: A factor of influence which may produce ageing.

3.4 Termes relatifs aux essais et à l'évaluation

3.4.1 **facteur de diagnostic:** Facteur d'influence appliqué à un composant d'isolation d'un échantillon afin de constater son état sans accroître de façon significative son degré de vieillissement.

3.4.2 **essai fonctionnel:** Essai dans lequel le système d'isolation d'une éprouvette est exposé aux facteurs de vieillissement et aux facteurs de diagnostic simulant les conditions du service, afin d'obtenir des renseignements sur l'aptitude au service, y compris l'évaluation des résultats des essais.

3.4.3 **essai d'endurance:** Essai dans lequel sont déterminés des changements de propriétés spécifiques, produits sous l'action d'un ou plusieurs facteurs de vieillissement, soit par des mesures, soit par des épreuves, en fonction du temps.

3.4.4 **essai de diagnostic:** Essai dans lequel un facteur de diagnostic est appliqué à une éprouvette afin d'évaluer son état et, généralement, d'aider à déterminer la fin de sa durée de vie en essai.

3.4.5 **critère de fin de vie:** Valeur choisie d'une caractéristique d'un échantillon indiquant la fin de sa durée de vie en essai, ou choisie arbitrairement afin de comparer des systèmes d'isolation.

3.4.6 **fin de vie:** Fin d'un essai tel qu'il est défini par le critère de fin de vie.

3.4.7 **classification:**

- a) Ensemble d'actions conduisant à établir la classe d'un système d'isolation (par exemple, classe thermique);
- b) Ensemble de classes définies (par exemple, classes thermiques conformément à la CEI 85).

4 Aspects généraux de l'évaluation fonctionnelle

Tous les essais fonctionnels décrits dans cette norme sont comparatifs. La performance d'un système candidat (un système d'isolation sans expérience en service prouvée) est comparée à celle d'un système de référence (système connu avec expérience en service prouvée) lorsque les deux systèmes sont soumis à des conditions d'essai équivalentes en ce qui concerne les éprouvettes, les méthodes de vieillissement et les essais de diagnostic.

4.1 Effets des facteurs de vieillissement

Tous les facteurs de vieillissement, c'est-à-dire, thermique, électrique, d'environnement et mécanique, ont une incidence sur la vie de tous les types de machine; mais l'importance de chaque facteur varie avec le type de machine et avec l'utilisation prévue.

D'une manière générale, l'isolation des petites machines se dégrade essentiellement sous l'effet de la température et de l'environnement, les contraintes électriques et mécaniques étant de moindre importance.

3.4 Terms relating to testing and evaluation

3.4.1 **diagnostic factor:** A factor of influence applied to an insulation component of a test specimen in order to establish its condition without significantly adding to the ageing.

3.4.2 **functional test:** A test in which the insulation system of a test object is exposed to ageing factors and diagnostic factors simulating service conditions, in order to obtain information about serviceability, including evaluation of test results.

3.4.3 **endurance test:** A test where changes in specific properties, produced by action of one or several ageing factors, are determined, either through measurements or through proof tests, as functions of time.

3.4.4 **diagnostic test:** A test in which a diagnostic factor is applied to a test specimen in order to discern its condition and usually to aid in determining the end of its test life.

3.4.5 **end-point criterion:** A selected value of a characteristic of a test specimen indicating the end of its test life, or arbitrarily chosen for the purpose of the comparison of insulation systems.

3.4.6 **end-point:** The end of a test as defined by the end-point criterion.

3.4.7 **classification:**

- a) set of actions leading to determination of the class of an insulation system (e.g., thermal class);
- b) set of defined classes (e.g., thermal classes according to IEC 85).

4 General aspects of functional evaluation

All functional tests given in this standard are comparative. The performance of a candidate system (an insulation system without proven service experience) is compared with that of a reference system (a known system with proven service experience) when both are subjected to equivalent test conditions with respect to test objects, methods of ageing and diagnostic tests.

4.1 Effects of ageing factors

All ageing factors, i.e. thermal, electrical, environmental, and mechanical, affect the life of all types of machines, but the significance of each factor varies with the type of machine and the expected duty.

In general, insulation of small machines is degraded primarily by temperature and environment, with electrical and mechanical stresses being of less importance.

Les machines de moyennes à grandes dimensions, utilisant des enroulements préformés, sont également affectées par la température et l'environnement, mais les contraintes électriques et mécaniques peuvent également constituer d'importants facteurs de vieillissement.

Les très grosses machines, qui utilisent généralement des enroulements du type à barres et qui peuvent fonctionner dans un environnement inerte tel que l'hydrogène, sont normalement affectées par les contraintes mécaniques ou électriques ou par les deux. La température et l'environnement sont alors des facteurs de vieillissement moins importants.

4.2 *Système d'isolation de référence*

Comme il est indiqué au début de l'article 4, les essais fonctionnels sont effectués sur une base comparative. Les résultats des essais pratiqués sur un système candidat seront donc comparés à ceux qui sont obtenus de la même manière sur un système de référence.

Un système d'isolation peut être utilisé comme système d'isolation de référence si

- il a fonctionné de manière satisfaisante pendant de longues périodes, dans des conditions d'exploitation caractéristiques de sa puissance (ou de sa classe) et dans des applications types de ce système d'isolation;
- son expérience en service est basée sur un nombre de machines suffisant sur le plan statistique.

4.3 *Essais fonctionnels*

Les articles 5 à 8 donnent les principes directeurs généraux relatifs aux essais d'endurance thermique, électrique, mécanique et d'environnement. Quand plus d'un facteur de vieillissement est important, il peut se révéler nécessaire de concevoir des essais spéciaux appropriés à la conception et aux caractéristiques du type de machine en question. Les principes directeurs généraux relatifs à ces essais fonctionnels multifacteurs sont donnés à l'article 9.

D'une manière générale, les essais fonctionnels sont effectués sous forme de cycles, chaque cycle comprenant un sous-cycle de vieillissement et un sous-cycle de diagnostic. Dans le sous-cycle de vieillissement, les échantillons sont exposés au facteur de vieillissement spécifié, intensifié comme il convient pour accélérer le vieillissement. Dans le sous-cycle de diagnostic, les échantillons sont soumis à des essais de diagnostic appropriés pour déterminer la fin de la durée de vie en essai ou pour mesurer les propriétés caractéristiques du système d'isolation à ce moment-là. Dans certains cas, le facteur de vieillissement peut lui-même jouer le rôle de facteur de diagnostic et déterminer le point de fin de vie.

En cas de différence entre les valeurs de conception du système candidat et du système de référence et lorsque cela se justifie sur le plan technique, on peut utiliser des niveaux appropriés différents pour les facteurs de vieillissement ou les essais de diagnostic.

Il n'est pas nécessaire d'effectuer tous les essais de diagnostic dans tous les cas. Certaines considérations spéciales risquent d'empêcher ou de rendre inapplicables certains essais de diagnostic.

Constructeur et utilisateur peuvent convenir d'essais convenant à des applications spécifiques.

Medium to large machines, using form-wound windings, are also affected by temperature and environment but in addition the electrical and mechanical stresses may also be important ageing factors.

Very large machines, which usually utilize bar-type windings and which may operate in an inert environment such as hydrogen, are normally most affected by mechanical stresses or electrical stresses or both. Temperature and environment may be less significant ageing factors.

4.2 *Reference insulation system*

As stated at the beginning of clause 4, functional testing is performed on a comparative basis. Therefore, test results from a candidate system will be compared with results derived in the same way from a reference system.

An insulation system qualifies to be used as a reference insulation system if:

- it has shown successful operation over suitably long periods of time at operating conditions characteristic of the rating (or class) and in typical applications of that insulation system;
- its service experience is based on a statistically sufficient number of machines.

4.3 *Functional tests*

In clauses 5 to 8, general guidelines are given for thermal, electrical, mechanical, and environmental functional tests. When more than one ageing factor is important, special tests appropriate to the design and characteristics of the machine type in question may be devised. General guidelines for such multifactor functional tests are given in clause 9.

Generally, the functional tests are performed in cycles, each cycle consisting of an ageing sub-cycle and a diagnostic sub-cycle. In the ageing sub-cycle, the test specimens are exposed to the specified ageing factor, intensified appropriately to accelerate ageing. In the diagnostic sub-cycle, the test specimens are subjected to appropriate diagnostic tests to determine the end of test life or to measure relevant properties of the insulation system at that time. In some cases, the ageing factor itself may act as the diagnostic factor and produce the end-point.

If the design values for the candidate and reference systems differ, then, when technically justified, appropriate different levels may be used for ageing factors or in the diagnostic tests or both.

Not all diagnostic tests indicated need be applied in all cases. Special considerations may preclude or render inapplicable some diagnostic tests.

Suitable tests for specific applications may be agreed between manufacturer and user.

5 Essais fonctionnels thermiques

5.1 Aspects généraux des essais fonctionnels thermiques

L'objet des essais fonctionnels thermiques décrits dans cette norme est de fournir des données qui peuvent être utilisées pour établir la classe thermique d'un nouveau système d'isolation avant qu'il ne fasse ses preuves en service.

Ces principes directeurs sont utilisés conjointement avec d'autres parties de la présente norme pour le type spécifique d'enroulement considéré.

Les concepts mis en oeuvre dans la présente norme sont basés sur les CEI 85, 505, 610 et 611.

Les procédures indiquées permettront d'effectuer des comparaisons mais ne pourront déterminer totalement les avantages d'un système d'isolation particulier. On ne pourra obtenir ce type d'information que d'après une expérience prolongée en service.

Les processus de vieillissement thermique des machines électriques tournantes peuvent être complexes de nature. Du fait que les systèmes d'isolation sont à des degrés divers généralement compliqués, les systèmes simplifiés mentionnés dans la CEI 85 risquent de ne pas exister dans les machines tournantes.

5.1.1 Système d'isolation de référence

Un système de référence (voir 4.2) sera essayé conformément à la même procédure d'essai que pour le système candidat.

Toutes les procédures d'essai doivent être équivalentes, en tenant compte du fait que lorsque les valeurs théoriques des deux systèmes sont différentes, il peut se révéler nécessaire de travailler avec des températures, des durées de sous-cycle de vieillissement et des essais de diagnostic différents, lorsque cela se justifie sur le plan technique (voir tableau 2).

5.2 Epreuves et échantillons

5.2.1 Fabrication des épreuves

Il est entendu que les différents matériaux isolants ou composants d'un système d'isolation à évaluer au moyen de ces procédures d'essai feront l'objet d'un premier tri. On peut obtenir les indices de température des matériaux isolants en suivant les procédures brièvement décrites dans la CEI 216. Toutefois, les indices de température des matériaux isolants ne peuvent être utilisés pour classer des systèmes d'isolation, mais ne doivent être considérés qu'à titre indicatif pour procéder aux essais fonctionnels thermiques des systèmes.

Chaque fois que les aspects économiques ou la taille de la machine, ou les deux, le justifient, on utilisera comme épreuve une machine réelle ou un de ses éléments. Généralement, il faut donc utiliser des bobines à section entière présentant les lignes de fuite et les distances d'isolement dans l'air réelles bien que l'on puisse également utiliser une longueur d'encoche réduite.

5 Thermal functional tests

5.1 General aspects of thermal functional tests

The purpose of the thermal functional tests of this standard is to provide data which may be used to establish the thermal class of a new insulation system before it is service-proven.

These guidelines are used in conjunction with other parts of this standard for the specific type of winding being considered.

The concepts implemented herein are based on IEC 85, 505, 610 and 611.

The procedures will permit comparisons but cannot completely determine the merits of any particular insulation system. Such information can be obtained only from extended service experience.

The thermal ageing processes in rotating electrical machines may be complex in nature. Since also the insulation systems of rotating machines are generally complicated in varying degrees, simple systems referred to in IEC 85 may not exist in rotating machines.

5.1.1 Reference insulation system

A reference system (see 4.2) will be tested using the same test procedure as for the candidate system.

All test procedures shall be equivalent, allowing for the fact that when the design values of the two systems are different, then appropriate differences in temperatures, ageing sub-cycle lengths and diagnostic tests may be necessary, when technically justified (see table 2).

5.2 Test objects and test specimens

5.2.1 Construction of test objects

It is expected that the various insulating materials or components making up any insulation system to be evaluated by these test procedures will first be screened properly. Temperature indices for insulating materials may be obtained by following the procedures outlined in IEC 216. However, temperature indices of insulating materials cannot be used to classify insulation systems but are to be considered only as indicators for the thermal functional tests for systems.

Wherever economics or the size of the machine, or both, warrant it, an actual machine or machine component should be used as the test object. Usually this means that coils of full cross section, with actual clearances and creepage distances are needed, though a reduced slot length may be adequate.

Lorsqu'on utilise des modèles d'essai, ceux-ci doivent contenir tous les éléments essentiels utilisés dans les enroulements qu'ils simulent et ne doivent être considérés que comme de bonnes approximations. On doit utiliser les épaisseurs d'isolation, les distances de cheminement et, le cas échéant, les protections contre les décharges qui sont appropriées à la classe de tension et aux normes ou pratiques des équipements concernés.

Pour les grosses machines à haute tension, on pourra utiliser des modèles d'essai représentant une partie d'une bobine lorsque l'on étudie le vieillissement spécifique à cette partie, à condition que les facteurs d'influence représentatifs puissent être appliqués aux échantillons.

5.2.2 *Nombre d'échantillons*

On doit soumettre à la procédure d'endurance un nombre adéquat d'échantillons pour obtenir une bonne moyenne statistique, jusqu'à ce qu'une défaillance se produise, pour chaque température de vieillissement choisie (voir parties 2 et 3).

5.2.3 *Essais de vérification de la qualité*

Tous les matériaux isolants que l'on envisage d'utiliser pour préparer les éprouvettes seront soumis à des essais séparés pour établir leur uniformité et leur normalité avant de les utiliser dans un assemblage.

Tous les échantillons doivent être soumis aux essais de contrôle qualité du processus de production normal ou prévu.

5.2.4 *Essais de diagnostic initiaux*

Chaque éprouvette fabriquée doit être soumise à tous les essais de diagnostic sélectionnés pour les essais fonctionnels thermiques (voir 5.5) avant de commencer le premier sous-cycle de vieillissement thermique afin de s'assurer que chaque échantillon peut être soumis avec succès à ces essais de diagnostic.

5.3 *Procédures des essais fonctionnels thermiques*

5.3.1 *Principes généraux*

Les expositions appropriées à la chaleur lors des sous-cycles répétés de vieillissement thermique répétés qui provoqueront des effets de dégradation thermique semblables à ceux observés sur les systèmes d'isolation en service, avec un effet accéléré sont spécifiés en 5.3 et 5.4. L'application des essais de diagnostic tels que les essais mécaniques, d'humidité et de tension, à effectuer après chaque sous-cycle de vieillissement thermique pour vérifier l'état du système d'isolation est décrite en 5.5.

L'évaluation de la dégradation du système d'isolation due au vieillissement thermique peut varier en fonction de la taille de la machine ou de la partie de l'enroulement concernée (par exemple, développante ou partie dans l'encoche).

L'expérience a montré, dans de nombreux cas, que le meilleur diagnostic pour l'évaluation d'un système d'isolation ayant subi une dégradation thermique, et étant donc devenu généralement fragile, était de le soumettre à une contrainte mécanique qui produise des fissures dans les parties soumises à cette contrainte, puis de l'exposer à l'humidité et enfin d'appliquer une tension d'essai.

Test models, when used, shall contain all the essential elements employed in the windings they simulate and shall be considered only as close approximations. Insulation thicknesses, creepage distances and, where necessary, discharge protection, appropriate for the intended rated voltage and equipment standards or practices, shall be used.

For large and high-voltage machines, test models representing a part of a coil or bar may be used, when ageing specific for that part is investigated, provided that representative factors of influence can be applied to the test specimens.

5.2.2 *Number of test specimens*

An adequate number of test specimens to obtain a good statistical average, shall be subjected to the functional test procedure until failure occurs, for each chosen ageing temperature (see Parts 2 and 3).

5.2.3 *Quality assurance tests*

Each insulating material intended to be used in preparation of test objects should be subjected to separate tests to establish uniformity and normality before it is used in assembly.

Each test specimen shall be subjected to the quality control tests of the normal or intended production process.

5.2.4 *Initial diagnostic tests*

Each completed test object shall be subjected to all of the diagnostic tests selected to be used in the thermal functional test (see 5.5) before starting the first thermal ageing sub-cycle, to establish that each test specimen is capable of passing the selected diagnostic tests.

5.3 *Thermal functional test procedures*

5.3.1 *General principles*

Appropriate exposures to heat in repeated thermal ageing sub-cycles, which will impose thermal degradation effects similar to those in service on insulation systems, on an accelerated basis are specified in 5.3 and 5.4. The application of diagnostic tests such as mechanical, moisture and voltage tests, to be applied after each thermal ageing sub-cycle to check the condition of the insulation system is described in 5.5.

The evaluation of the deterioration of the insulation system due to thermal ageing may vary depending on the size of the machine or the part of the winding of interest (e.g., end winding or embedded slot section).

In many cases, experience has indicated that the best diagnostic evaluation of a thermally degraded and thus usually brittle insulation system is obtained by exposure to mechanical stress, thus producing cracks in the mechanically stressed parts, then exposure to moisture and finally application of the test voltage.

Dans d'autres cas, les contraintes mécaniques, l'exposition à l'humidité et l'application d'une tension ne sont pas nécessairement les meilleurs essais de diagnostic. Il peut se révéler approprié de les remplacer par des essais diélectriques sélectionnés (par exemple, mesure de décharges partielles ou de la tangente de l'angle de pertes) pour vérifier l'état de l'isolation au terme de chaque sous-cycle de vieillissement thermique.

Il est à noter que des contraintes mécaniques plus importantes et des concentrations plus élevées de produits de décomposition peuvent se produire pendant les essais de vieillissement à des températures supérieures aux températures normales. On admet donc que les défaillances qui se produisent à la suite de contraintes mécaniques, ou de l'application de tensions anormalement élevées, sont généralement d'une nature différente de celles que l'on observe après un service prolongé.

S'il est nécessaire de vérifier les résultats dans un autre laboratoire, on risque de constater que les valeurs numériques réelles de la durée de vie en essai diffèrent, sauf si les conditions de l'essai d'origine sont reproduites dans les moindres détails. Toutefois, la comparaison de résultats entre laboratoires qualifiés devrait montrer les mêmes différences relatives de performances entre le système candidat et le système de référence.

5.3.2 Températures de vieillissement et durées des sous-cycles

5.3.2.1 Procédure normale

Il est recommandé que les essais portent sur le nombre d'échantillons indiqué dans les parties suivantes de cette norme à au moins trois températures différentes de vieillissement.

On doit rechercher dans le tableau 1 la classe thermique attendue du système d'isolation candidat, ainsi que la classe connue du système de référence.

Le tableau 2 récapitule les températures de vieillissement suggérées et les périodes correspondantes d'exposition de chaque sous-cycle de vieillissement thermique pour les systèmes d'isolation des diverses classes thermiques concernées. On peut régler la durée ou la température pour utiliser au mieux les installations et le personnel mais les comparaisons doivent tenir compte de ces variations. Se reporter en 5.6 à cet égard.

La température de vieillissement la plus basse sera choisie de façon à produire une durée moyenne logarithmique de vie en essai d'environ 5 000 h ou plus. De plus, on choisira au moins deux températures de vieillissement supérieures, séparées par un écart de 20 K ou plus. Un intervalle de 10 K peut convenir lorsque les essais sont effectués à plus de trois températures de vieillissement.

Il est recommandé que les durées des sous-cycles de vieillissement à la température de classe attendue soient sélectionnées pour correspondre à une durée de vie moyenne d'environ 10 cycles pour chaque température de vieillissement. (Le tableau 2 a été élaboré en se basant sur l'expérience, pour que, à chaque température de vieillissement, la durée de vie moyenne en essai corresponde à environ 10 cycles d'essai).

5.3.2.2 Vérification des effets causés par des changements mineurs dans les systèmes d'isolation

On admet que de temps à autre, dans la fabrication des machines tournantes, il est nécessaire de procéder à des modifications mineures des matériaux ou des processus de fabrication, pour des raisons techniques ou commerciales.

In other cases, mechanical stress, moisture exposure and application of voltage may not be the best diagnostic tests. It may be appropriate to replace them by selected dielectric tests (e.g., measurement of partial discharge or loss tangent) to check the condition of the insulation after each thermal ageing sub-cycle.

It should be realized that greater mechanical stress and higher concentration of the products of decomposition may occur during ageing tests at higher than normal temperature. Also, it is recognized that failures from abnormally high mechanical stress or voltage are generally of a different character from those failures which are produced in long service.

If it is necessary to verify results in another laboratory it may be found that the actual numerical test-life values differ unless the conditions in the original test are duplicated in extreme detail. However, a comparison of results between qualified laboratories should show the same relative performance differences between candidate and reference systems.

5.3.2 Ageing temperatures and sub-cycle lengths

5.3.2.1 Normal procedure

It is recommended that the tests be carried out on the number of specimens indicated in subsequent parts of this standard for at least three different ageing temperatures.

The intended thermal class of the candidate insulation system as well as the known class of the reference system shall be selected from table 1.

Table 2 lists the suggested ageing temperatures and corresponding periods of exposure in each thermal ageing sub-cycle for insulation systems of the various thermal classes. Either time or temperature may be adjusted to make the best use of facilities and staff but comparisons shall take such variations into consideration. See 5.6.

The lowest ageing temperature selected should be such as to produce a log mean test life of about 5 000 h or more. In addition, at least two higher ageing temperatures should be selected, separated by intervals of 20 K or more. Intervals of 10 K may be suitable when tests are made at more than three ageing temperatures.

It is recommended that the lengths of ageing sub-cycles for the intended class temperature be selected so as to give a mean life of about 10 cycles for each ageing temperature. (Table 2 is constructed, based on experience, so that at each ageing temperature the mean test life will be approximately 10 cycles of testing.)

5.3.2.2 Verification of effects of minor changes in insulation systems

It is recognized that from time to time in the manufacture of rotating machines, it will be necessary to make minor changes in materials or the manufacturing process either for technological or commercial reasons.

Il est du ressort du fabricant de machines de déterminer si ces modifications mineures affecteront le graphique d'endurance thermique d'une manière qui risque de réduire l'endurance thermique du système d'isolation. Dans les cas où le constructeur pense que cette modification mineure risque de changer la classe thermique, il doit effectuer un essai de vérification. La nécessité de cet essai peut également faire l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur.

On procède à l'essai de vérification en utilisant la même procédure que pour l'essai fonctionnel thermique de l'évaluation d'origine. Le système est soumis à un essai, soit à la température la plus basse utilisée lors de l'évaluation initiale du système, soit à la température immédiatement supérieure. Si, après la modification mineure, le système d'isolation résiste à l'essai à la température d'essai choisie pendant une durée qui est statistiquement équivalente ou plus longue par rapport à la durée de vie obtenue lors de l'évaluation d'origine du système à la même température, on peut considérer que cette modification mineure est acceptable.

Dans les documents relatifs au système d'isolation, le fabricant devra faire état de la vérification effectuée à la suite de la modification mineure apportée au système.

5.3.3 Moyens de chauffage

En dépit de certains inconvénients évidents, l'expérience démontre que les étuves sont un moyen commode et économique permettant d'obtenir les températures de vieillissement. L'étuve soumet toutes les parties du système d'isolation à la pleine température de vieillissement, alors qu'en service réel une grande partie du système d'isolation risque de fonctionner à des températures considérablement inférieures à celle de la partie la plus chaude du système. Aussi, les produits de décomposition sont susceptibles de demeurer près de l'isolation pendant le vieillissement en étuve, alors qu'ils risquent d'être chassés sous l'effet de la ventilation en service réel. Les températures de vieillissement doivent être contrôlées et maintenues constantes à ± 2 K près jusqu'à 180 °C et ± 3 K de 180 °C à 300 °C.

Toutefois, l'utilisation des étuves pour le chauffage n'est pas obligatoire. Le cas échéant, on peut utiliser un moyen plus direct qui simule plus fidèlement les conditions de service. Parmi ces moyens, on notera:

- chauffage direct par courant électrique;
- démarrage et inversion du sens de rotation (essai de moteur);
- superposition de courant continu au courant alternatif normal d'un moteur fonctionnant sans charge.

5.3.4 Vérification des essais de diagnostic

Avant de passer aux essais en vraie grandeur des échantillons aux températures de vieillissement sélectionnées, il est recommandé d'en soumettre un petit nombre (un ou deux) à un essai de vieillissement à la température la plus élevée pour s'assurer que la procédure de diagnostic permettra de déterminer avec efficacité la fin de la durée de vie en essai. La température de vieillissement sera sélectionnée pour que la fin de vie se produise dans un délai de 48 h. Il est fréquent d'être obligé de travailler avec une température de vieillissement d'au moins 100 K supérieure à la température de la classe visée. Ces échantillons ainsi vieillis doivent être soumis aux procédures de diagnostic que l'on a prévu d'utiliser pour s'assurer que la procédure d'un laboratoire donné, appliquée à des éprouvettes données, peut diagnostiquer la détérioration thermique.

On ne doit pas considérer les résultats de ce vieillissement à une valeur extrême comme faisant partie des données relatives au vieillissement thermique.

It is the machine manufacturer's responsibility to determine whether this minor change will affect the thermal endurance graph in a manner which may reduce the thermal endurance of the insulation system. In those cases where the manufacturer believes that there is a possibility of changing the thermal classification by this minor change, he shall perform a verification test. The need for a verification test may also be agreed between the manufacturer and the user.

The verification test is made by using the same thermal functional test procedure as used in the original evaluation. The system is tested at either the lowest temperature used in the original evaluation of the system, or at the next higher temperature. If the insulation system, with the minor change, produces a test life at the chosen test temperature which is statistically equivalent or longer when compared to the test life obtained from the original evaluation of the system at that same temperature, then the minor change can be considered acceptable.

In the documentation on the insulation system, the manufacturer should include this verification of a minor change when it is used in the system.

5.3.3 Means of heating

Despite some evident disadvantages, ovens have been shown by experience to be a convenient and economical method of obtaining ageing temperatures. The oven method subjects all the parts of the insulation system to the full ageing temperature, while in actual service a large proportion of the insulation may operate at considerably lower temperatures than the hot-spot temperature. Also, the products of decomposition are likely to remain near the insulation during oven ageing whereas they may be carried away by ventilation in actual operation. Ageing temperatures shall be controlled and held constant with ± 2 K up to 180 °C and ± 3 K from 180 °C to 300 °C.

However, the use of ovens for heating is not mandatory. A more direct means which more closely simulates service conditions may be used when appropriate. Such means may be:

- direct heating by electric current;
- starting and reversing duty (motor test);
- superimposition of direct current on the normal alternating current of a motor running at no load.

5.3.4 Verification of diagnostic tests

Before proceeding with the full-scale testing of specimens at selected ageing temperatures, it is suggested that a small number of test specimens (one or two) be subjected to extreme ageing to make sure that the diagnostic procedure will be effective in determining end of test life. The ageing temperature should be selected to end life within 48 h. Often an ageing temperature of at least 100 K higher than the intended class temperature is needed. These aged test specimens shall be subjected to the diagnostic procedures intended to be used, to make sure the procedure at the particular laboratory with the particular test objects is capable of finding thermal degradation.

The results from this extreme ageing are not to be considered as part of the thermal ageing data.

5.4 *Sous-cycle de vieillissement thermique*

Lorsque cela est justifié, on réalise les expositions aux températures de vieillissement en plaçant les éprouvettes dans des étuves fermées, avec une ventilation juste suffisante, ou une convection forcée, pour assurer les températures uniformes spécifiées en 5.3.3.

Les éprouvettes froides (à la température ambiante) seront placées directement dans les étuves préchauffées, afin de les soumettre à un choc thermique uniforme lors de chaque cycle. De même, les éprouvettes chaudes seront sorties des étuves et exposées directement à l'air ambiant, afin de les soumettre à un choc thermique uniforme lors du refroidissement tout comme lors du chauffage.

Il est admis que certains matériaux se dégradent plus rapidement lorsque les produits de décomposition restent en contact avec la surface de l'isolation alors que d'autres matériaux se dégradent plus rapidement lorsque les produits de décomposition sont éliminés en permanence. On doit assurer les mêmes conditions de ventilation des étuves au système candidat et au système de référence.

Si, en service réel, les produits de décomposition restent en contact avec l'isolation, comme ce peut être le cas dans des machines entièrement fermées, les essais devront être conçus de façon telle que la ventilation de l'étuve n'élimine pas complètement les produits de décomposition. Théoriquement, la concentration des produits de décomposition ne devrait pas changer avec la température de vieillissement; mais, en essai, cette condition risque de ne pas être réalisable. On doit indiquer dans le compte rendu la vitesse de remplacement de l'air pendant le vieillissement thermique.

En fonction des installations d'essai disponibles, des types d'éprouvettes utilisés et d'autres facteurs, il peut se révéler souhaitable d'avoir recours à d'autres méthodes de chauffage et de traitement des produits de décomposition.

Outre le vieillissement thermique qui est interrompu régulièrement pour pratiquer les essais de diagnostic afin de surveiller la dégradation thermique, la détérioration thermomécanique d'un système d'isolation peut aussi être provoquée par la dilatation et la contraction de l'ensemble pendant le cycle de température.

5.5 *Sous-cycle de diagnostic*

Après chaque sous-cycle de vieillissement thermique, tous les échantillons seront soumis à une série d'essais de diagnostic sélectionnés qui peuvent comprendre, dans cet ordre, des essais de contrainte mécanique, d'exposition à l'humidité, de tension et autres, selon convenance.

5.5.1 *Essais mécaniques*

Il est recommandé que la contrainte mécanique appliquée soit de même nature que celles rencontrées en service et d'une sévérité comparable aux efforts ou contraintes les plus élevés se produisant en service normal. La procédure d'application de cette contrainte peut varier avec chaque type d'éprouvette et avec la nature du service envisagé.

Une méthode couramment utilisée pour exercer une contrainte mécanique consiste à monter chaque éprouvette sur une table vibrante et à faire fonctionner celle-ci pendant une période d'une heure avec un mouvement oscillant à 50 Hz ou 60 Hz. On peut également avoir recours à d'autres méthodes comme celle des impacts et des flexions répétés.

5.4 *Thermal ageing sub-cycle*

Where appropriate the ageing temperature exposures are obtained by placing the test objects in enclosed ovens, with just sufficient ventilation or forced convection to maintain uniform temperatures specified in 5.3.3.

The cold test objects (at room temperature) should be placed directly in preheated ovens, so as to subject them to a consistent thermal shock in each cycle. Likewise, the hot test objects should be removed from the ovens directly into room air, so as to subject them to uniform thermal shock on cooling as well as on heating.

It is recognized that some materials deteriorate more rapidly when the products of decomposition remain in contact with the insulation surface, whereas other materials deteriorate more rapidly when the decomposition products are continually removed. The same conditions of oven ventilation shall be maintained for both the candidate and the reference systems.

If in actual service the products of decomposition remain in contact with the insulation, as may be the situation in totally enclosed machines, the tests should then be designed so that the oven ventilation will not completely remove these decomposition products. Ideally, concentration of the decomposition products should not change with the ageing temperature, but in practical testing this may not be realizable. The rate of replacement of air during thermal ageing shall be reported.

Depending on the test facilities available, the type of test objects employed, and other factors, it may be desirable to use other methods of heating and of handling the products of decomposition.

In addition to thermal ageing which is interrupted periodically for diagnostic testing so as to monitor the thermal degradation, thermo-mechanical deterioration of an insulation system may also be produced by the expansion and contraction of the assembly occurring during the temperature cycling.

5.5 *Diagnostic sub-cycle*

Following each sub-cycle of thermal ageing, each specimen shall be subjected to a series of selected diagnostic tests which may include, in the following order, mechanical stress, moisture exposure, voltage tests and other diagnostic tests, as appropriate.

5.5.1 *Mechanical tests*

It is recommended that the mechanical stress applied be of the same general nature as would be experienced in service and of a severity comparable with the highest stresses or strains expected in normal service. The procedure for applying this stress may vary with each type of test object and kind of intended service.

A widely used method for applying mechanical stress is to mount each test object on a shake table and operate it for a period of one hour with a 50 Hz or 60 Hz oscillating motion. Other methods, such as repeated impact and bending, are also used.

Un cycle de démarrage-arrêt ou d'inversion du sens de rotation peut également constituer une technique d'application de contraintes mécaniques aux enroulements de machines réelles. Toutefois, on peut introduire un vieillissement mécanique. Du fait que cet effet est plus sévère lorsque la taille de la machine augmente, ce facteur doit être pris en considération.

5.5.2 *Essais d'humidité*

Dans de nombreux cas, on admet que l'humidité est une cause majeure de modification des propriétés de l'isolation électrique. L'humidité peut provoquer différents types de défaillance de l'isolation contrainte électriquement. L'absorption d'humidité par une isolation solide a un effet progressif qui se traduit par une augmentation des pertes diélectriques (diminution de la résistance d'isolement); elle peut également contribuer à un changement de la rigidité diélectrique. L'humidité sur l'isolation améliore l'aptitude d'un essai de tension à faire apparaître les fissures et les porosités de l'isolation.

Dans le cadre du sous-cycle de diagnostic, il est courant d'effectuer un essai d'humidité au cours duquel chaque échantillon est exposé à l'humidité avec un dépôt de condensation sur l'enroulement. Pendant cette période, aucune tension ne sera appliquée sur les échantillons.

Un essai de deux jours avec présence d'humidité visible sur les surfaces de l'isolation constitue une condition beaucoup plus sévère que celle que l'on rencontre en service normal, mais est largement utilisé. L'expérience a montré qu'il fallait une durée d'exposition d'au moins 48 h pour que l'humidité pénètre dans l'enroulement et que la résistance d'isolement atteigne un niveau relativement stable.

5.5.3 *Essais de tension*

Afin de vérifier l'état des échantillons et de déterminer le moment où a été atteinte la fin de durée de vie en essai, la tension est appliquée dans le cadre du sous-cycle de diagnostic sélectionné. La valeur et la forme d'onde de la tension à appliquer sont indiquées dans les parties suivantes de cette norme. Lorsqu'une tension à fréquence industrielle est spécifiée, la fréquence doit être comprise entre 49 Hz et 62 Hz.

La tension peut être appliquée entre bobine et masse, entre bobines, entre spires et entre fils selon les cas. Si l'on effectue un essai d'humidité, l'essai de tension est effectué lorsque les échantillons sont encore humides, après exposition à une température proche de l'ambiante.

Dans certains cas, la présence d'humidité en surface peut empêcher l'application normale de la tension; la surface de l'échantillon peut alors être essuyée pour la débarrasser des gouttelettes d'eau immédiatement avant l'application de la tension.

Lors de ces essais, la tension est appliquée de façon à ne pas réduire la durée de vie en essai de l'isolation des échantillons. On doit prendre les précautions nécessaires pour que des surtensions de commutation imprévues ne soumettent pas les systèmes d'isolation à des tensions de choc transitoires.

La défaillance d'un composant quelconque du système d'isolation marque la défaillance de tout l'échantillon et constitue la fin de la durée de vie en essai.

NOTE - La durée de vie en essai n'a pas de rapport direct avec la durée de vie en service d'une machine.

A start-stop or reversing duty cycle may also be used as a technique for mechanically stressing windings in actual machines. However, mechanical ageing may be introduced. Since this effect is more severe with increasing machine size, this factor shall be taken into account.

5.5.2 *Moisture tests*

Moisture in many cases is recognized as a major cause of variation in the properties of electrical insulation. It may cause different types of insulation failure under electrical stress. The absorption of moisture by solid insulation has a gradual effect of increasing dielectric loss and reducing insulation resistance, and it may contribute to a change in electric strength. Moisture on insulation enhances the ability of a voltage test to detect cracks and porosity in the insulation.

Within the diagnostic sub-cycle it is common to apply a moisture test. In this test each test specimen is exposed to humidity with moisture deposition on the winding. During this period, voltage should not be applied to the test specimens.

A test of two days duration with visible moisture present on the insulation surfaces, being a more severe condition than is met in normal service, has won wide applicability. Experience has shown that an exposure time of at least 48 h is required for moisture to penetrate the winding so that the insulation resistance reaches a fairly stable level.

5.5.3 *Voltage tests*

In order to check the condition of the specimens and determine when the end of test life has been reached, voltage is applied as a part of the selected diagnostic sub-cycle. The value and waveform of the voltage to be applied is stated in the subsequent parts of this standard. When power-frequency voltage is specified, the frequency shall be in the range 49 Hz to 62 Hz.

The voltage may be applied from coil to frame, from coil to coil, from turn to turn, and from wire to wire as appropriate. If a moisture test is used, the voltage test is applied when the test specimens are still wet from the exposure at approximately room temperature.

In certain cases, the presence of surface moisture may prevent normal application of the voltage and in such cases the specimen surface may be wiped free of water droplets immediately before the voltage application.

The voltage in these tests is applied in such a manner as not to reduce the insulation test life of the specimens. Care shall be taken that unintended switching surges do not subject the insulation systems to transient surge voltages.

Any failure in any component of the insulation system constitutes failure of the entire test specimen and fixes the end of test life.

NOTE - The test life does not relate directly to a machine's useful life.

Toute défaillance se produisant lors d'un des essais de vérification sous tension se traduit par un niveau de courant inhabituel. La surchauffe localisée ou la présence de fumée peut également constituer le signe d'une défaillance. On indiquera dans le compte rendu la présence d'un piquage léger et d'étincelles en surface mais cela ne constitue pas une défaillance.

Les équipements d'essai doivent être d'une puissance suffisante pour provoquer et révéler une défaillance.

5.5.4 Autres essais de diagnostic

Pendant les essais, il peut se révéler souhaitable de mesurer périodiquement l'état de l'isolation sur certains des échantillons, par des mesures pratiquement non destructrices. Des facteurs tels que la résistance d'isolement, la tangente de l'angle de pertes et les décharges partielles en sont des exemples. En notant les changements intervenus dans ces mesures et en les comparant à la durée écoulée avant défaillance, on peut obtenir des informations sur la nature et la vitesse de détérioration de l'isolation, et accorder une plus grande confiance à la précision des résultats définitifs.

On peut également faire appel à d'autres essais de diagnostic pour déterminer la fin de la durée de vie en essai, soit en complétant les essais de tension, soit en les remplaçant. Un critère de fin de vie peut être établi pour chaque essai de diagnostic et la justification correspondante sera donnée dans le compte rendu d'essai.

5.6 Analyse, compte rendu et classification

La fin de la durée de vie en essai de l'isolation est supposée s'être produite à la température de vieillissement au temps médian entre les deux dernières applications consécutives des facteurs de diagnostic.

Le nombre total d'heures de vieillissement thermique jusqu'à la fin de la durée de l'essai doit être enregistré pour chaque échantillon et pour chaque température.

On peut procéder à l'analyse de la régression linéaire en coordonnées d'Arrhenius (logarithme du temps par rapport à l'inverse de la température absolue); se reporter à cet effet à la CEI 216-3. Pour présenter les résultats, on trace le graphique d'endurance thermique représentant les points de durée de vie moyenne (moyenne logarithmique).

La droite de régression du système de référence (R) doit être extrapolée jusqu'à sa température de classe pour obtenir la durée de vie moyenne logarithmique en essai (X). Dans le cas normal, lorsque les durées de vie en service des systèmes candidat et de référence doivent être les mêmes, la température (T_c) sur la droite de régression du système candidat (C) doit être obtenue pour une même durée de vie en essai (X). La température de classe du système candidat correspond à la température immédiatement inférieure (égale ou inférieure à T_c) figurant au tableau 1; on détermine la classe d'isolation à partir de ce tableau.

Dans les cas spéciaux où les durées de vie requises en service des systèmes candidat et de référence doivent être différentes, on doit obtenir la température T'_c sur la droite de régression du système candidat pour une durée de vie en essai qui diffère dans les mêmes proportions. (Par exemple, si la durée de vie en service du système candidat doit être le double, on obtient T'_c à partir de la droite de régression du système candidat pour une durée de vie en essai (2X) égale à deux fois celle du système de référence à sa température de classe.) La température de classe du système candidat est de nouveau la température immédiatement inférieure (égale ou inférieure à T'_c) du tableau 1 à partir duquel la classe de l'isolation est déterminée.

Failure in any of the voltage check tests is indicated by an unusual level of current. Localized heating or the presence of smoke may also indicate a failure. Minor spitting and surface sparking should be recorded but do not constitute a failure.

Test equipment shall be of sufficient capacity to produce and reveal a failure.

5.5.4 Other diagnostic tests

It may be desirable to take periodic, relatively non-destructive measurements of insulation condition on some of the specimens during the course of the tests. Factors such as insulation resistance, loss tangent, and partial discharge are examples. By noting changes in these measurements and correlating them with time before failure occurs, much can be learned about the nature and the rate of deterioration of the insulation, and greater confidence in the reliability of the final results can be established.

Some other diagnostic tests may also be used to determine end of test life, either complementing the voltage tests or replacing them. An end-point criterion may be established for each diagnostic test, with suitable justification reported.

5.6 Analyzing, reporting, and classification

The end of insulation test life is assumed to have occurred at the mid-point of the time at the ageing temperature between the last two consecutive applications of diagnostic factors.

The total number of hours of thermal ageing to the end of test shall be recorded for each specimen and for each temperature.

Linear regression analysis in Arrhenius coordinates (log life versus reciprocal of the absolute temperature) should be carried out in accordance with IEC 216-3. To show the results, the thermal endurance graph showing the mean life points (logarithmic means) is drawn.

The regression line of the reference system (R) shall be extrapolated to its class temperature and the log mean test life (X) obtained. In the normal case, where the service lives of the candidate and reference systems are required to be the same, the temperature (T_c) on the regression line of the candidate system (C) shall be obtained, corresponding to the same test life (X). The class temperature of the candidate system is the next lower temperature (equal to or lower than T_c) in table 1 and from this table the class of the insulation is determined.

In special cases where the required service lives of the candidate and reference systems are to be different, the temperature T'_c shall be obtained on the regression line of the candidate system corresponding to a test life which differs in the same proportion. (For example, if the candidate system is required to have twice the service life, then the T'_c is obtained from the regression line of the candidate system at a test life ($2X$) equal to twice that of the reference system at its class temperature.) The class temperature of the candidate system is again the next lower temperature (equal to or lower than T'_c) in table 1 from which the class of the insulation is determined.

Lorsque la comparaison est effectuée sur la base de durées de vie requises en service différentes, on doit le mentionner dans le compte rendu et le justifier.

La figure 1 représente cette procédure. Sachant que l'extrapolation augmente le degré d'incertitude des résultats de l'essai, celle-là ne sera pas supérieure à 25 K à partir de la température d'essai la plus basse.

Les classes reconnues figurant au tableau 1 sont tirées de la CEI 85.

Si le graphique d'endurance thermique présente une légère déformation, celle-ci indique que le vieillissement se trouve sous l'influence de plus d'un processus chimique ou de plus d'un mécanisme de défaillance. Néanmoins, si l'on compare des systèmes très similaires appartenant à la même classe thermique, on peut toujours établir une classification valable du système candidat.

Toutefois, une déformation plus prononcée de la courbe indique un changement important du mécanisme de vieillissement dominant. La classification ne peut alors être basée que sur la partie de la courbe correspondant à la température la plus basse; cela peut avoir à être confirmé par un point d'essai supplémentaire à une température inférieure ou intermédiaire. Il peut se révéler nécessaire de procéder à un jugement sur la base de l'expérience pour savoir si le temps nécessaire et le coût de cet essai additionnel sont justifiés ou si le système candidat ne peut atteindre la classe de température souhaitée et doit donc être abandonné. La CEI 493 explique comment rechercher la linéarité.

Si le graphique d'endurance thermique des systèmes de référence et candidat présente des pentes nettement différentes, il est évident que leurs processus respectifs de vieillissement sont très différents et il est donc peu probable que l'on puisse établir une classification valable à partir de leur comparaison. Il peut se révéler nécessaire d'adopter un système candidat différent pour la température de classe désirée ou un système de référence différent.

Il est utile de mentionner dans le compte rendu tous les détails significatifs de l'essai, y compris ceux qui figurent dans la liste suivante.

- références aux normes d'essai de la CEI;
- description des systèmes d'isolation soumis aux essais (systèmes de référence et candidat);
- températures de vieillissement et durées des sous-cycles de vieillissement pour chaque système d'isolation;
- essais de diagnostic utilisés avec les essais effectués ou les niveaux de contraintes, pour chaque système d'isolation;
- fabrication des échantillons et des éprouvettes;
- nombre d'échantillons pour chaque température et pour chaque système d'isolation;
- méthode d'obtention des températures de vieillissement (y compris le type d'étuve, etc.);
- vitesse de remplacement de l'air de l'étuve;
- durées individuelles jusqu'à défaillance et modes de défaillance;
- durées moyennes logarithmiques entre défaillance et écart quadratique moyen logarithmique, ou limites inférieures de confiance pour chaque température de vieillissement, et pour chaque système d'isolation;
- graphique d'endurance thermique avec points moyens logarithmiques et droite de régression;
- classe thermique du système de référence;
- classe thermique du système candidat comme déterminée par l'essai.

Where comparison is made on a basis of different required service lives then this shall be stated in the report together with an appropriate justification for its use.

Figure 1 illustrates the procedure. Recognizing that extrapolation increases the degree of uncertainty of the test results, the extrapolation from the lowest test temperature should not be greater than 25 K.

The recognized classes in table 1 are reproduced from IEC 85.

If the thermal endurance graph shows a slight bend it indicates that ageing is being influenced by more than one chemical process or failure mechanism. Nevertheless, if very similar systems belonging to the same thermal class are being compared, a valid classification of the candidate system may still be made.

However, a more pronounced knee in the curve indicates a big change in the dominating ageing mechanism. Then the classification can be based only on the lower temperature portion of the curve, which may have to be confirmed by an additional test point at a lower or intermediate temperature. It may be necessary to make a judgement on the basis of experience, as to whether the time and cost of this further testing is justified, or whether the candidate system is unable to achieve the desired classification temperature and must be abandoned. IEC 493 describes how to test data for linearity.

If the thermal endurance graph of the reference and candidate systems have clearly dissimilar slopes, it is evident that their ageing processes are significantly different and it is thus doubtful whether a valid classification can be made from the comparison. It may be necessary to adopt a different candidate system for the desired class temperature, or a different reference system.

When reporting, it is useful to record all relevant details of the test, including those in the following list:

- references to IEC test standards;
- description of the insulation systems tested (the reference and candidate systems);
- ageing temperatures and ageing sub-cycle lengths for each insulation system;
- diagnostic tests used with applied test or stress levels, for each insulation system;
- construction of the test specimens and test objects;
- number of specimens at each temperature for each insulation system;
- method of obtaining the ageing temperatures (including oven type, etc.);
- rate of oven air replacement;
- individual times to failure, and failure modes;
- mean log times to failure and the log standard deviation, or the lower confidence limits for each ageing temperature and for each insulation system;
- thermal endurance graph with log mean points and regression line;
- thermal class of the reference system;
- thermal class of the candidate system, as determined by the test.

6 Essais fonctionnels électriques

6.1 Aspects généraux des essais fonctionnels électriques

Les principes des essais fonctionnels électriques décrits à l'article 6 (voir 6.1 à 6.4) sont conformes à la CEI 727-1.

Les systèmes d'isolation sont soumis à des essais de vieillissement électrique par application de contraintes électriques entre des parties fonctionnant avec des potentiels électriques différents. On peut accélérer le processus de vieillissement en intensifiant les contraintes électriques et/ou en augmentant la fréquence. La fin de la durée de vie est marquée soit par un claquage au cours du vieillissement électrique, soit par une défaillance pendant un essai de diagnostic.

En effectuant les essais à différentes tensions, on peut représenter sous forme graphique la relation qui existe entre la durée de vie en essai et la contrainte électrique.

NOTE - L'augmentation de la fréquence a souvent été utilisée pour accélérer le vieillissement électrique en supposant que l'accélération de l'essai est proportionnelle à la fréquence. Cette hypothèse ne se révèle cependant pas toujours exacte.

La durée de vie en essai présente normalement une grande dispersion quel que soit le niveau de la contrainte de tension. Il est donc essentiel d'obtenir, pour chaque contrainte de vieillissement électrique, un nombre statistiquement suffisant de durées jusqu'à défaillance.

6.2 Epreuves

Les éprouvettes doivent être fabriquées de manière à représenter de façon adéquate la configuration du composant de l'enroulement fini à évaluer et elles doivent être soumises, autant que possible, aux processus de fabrication complets normaux ou prévus.

Pendant les essais de vieillissement électrique, tous les conducteurs sont généralement raccordés électriquement ensemble.

6.3 Procédures des essais fonctionnels électriques

6.3.1 Application de la tension

Les échantillons sont soumis à une tension alternative: la fréquence et la forme d'onde devront être conformes à la CEI 60-2. Pour obtenir une évaluation complète de l'endurance électrique, la tension doit être choisie de façon telle que les durées jusqu'à défaillance soient comprises entre 1 min et 10 000 h.

La CEI 727-1 examine plusieurs méthodes d'application de la tension pour établir l'endurance électrique, qui comprennent les essais à tension constante, par paliers de tension, et accélérés par augmentation de la fréquence.

6.3.2 Température de l'essai

Les échantillons seront à la température ambiante ou à la température de la classe concernée. On veillera à ce que les pertes diélectriques aux contraintes élevées ou pour une fréquence accrue n'élèvent pas la température de l'isolation dans des proportions suffisantes pour affecter les résultats.

6 Electrical functional tests

6.1 General aspects of electrical functional tests

Electrical functional testing principles described in clause 6 (see 6.1 to 6.4) follow IEC 727-1.

Insulation systems are subjected to electrical ageing by applying electrical stress between parts operating at different electric potentials. The ageing process can be accelerated by raising the electrical stress and/or increasing the frequency. End of life is manifested either as breakdown during exposure to electrical ageing or as failure in a diagnostic test.

By conducting tests at different voltages, a relationship of test life versus electrical stress may be plotted.

NOTE - Increased frequency has often been used to accelerate electrical ageing, with the assumption that the test acceleration is proportional to frequency. However, this assumption may not always hold.

Test life normally exhibits a widespread variation for any particular voltage stress level. Therefore, it is essential that a statistically significant number of failure times be obtained at each electrical ageing stress.

6.2 Test objects

The test objects shall be constructed to represent adequately the configuration of the finished winding component to be evaluated, and should be subjected to the full normal or intended manufacturing processes, as far as possible.

During the electrical ageing test, all conductors are usually electrically connected together.

6.3 Electrical functional test procedures

6.3.1 Voltage application

An alternating voltage is applied to the specimens: the frequency and the wave shape shall comply with IEC 60-2. To obtain a complete evaluation of the electrical endurance, the voltage should be chosen such that the times to failure would be expected to range from 1 min to 10 000 h.

Several methods of voltage application to establish the electrical endurance are discussed in IEC 727-1. These include fixed voltage, step-by-step voltages, and acceleration by increased frequency.

6.3.2 Test temperature

Specimens should be at room temperature or at class temperature. Care should be taken that dielectric losses at high stress or at increased frequency do not raise insulation temperature enough to affect the results.

6.3.3 Essais de diagnostic

Pendant l'essai d'endurance électrique, les essais de diagnostic peuvent être effectués; ils consistent en

- essais destructifs (par exemple, détermination de la tension de claquage de l'isolation entre spires);
- essais potentiellement destructifs (par exemple, essais de tenue aux hautes tensions de diverses parties du système d'isolation);
- essais non destructifs (par exemple, mesures de la tangente de l'angle de pertes ou des décharges partielles).

Ces essais, en particulier les essais destructifs et potentiellement destructifs, peuvent constituer d'autres méthodes de détermination du point de fin de vie, en plus des claquages pendant l'exposition au facteur de vieillissement électrique.

Le temps écoulé entre l'arrêt du vieillissement électrique et l'exécution des essais de diagnostic peut être spécifié dans les parties suivantes de cette norme.

6.4 Analyse et compte rendu

Il est utile de mentionner dans le compte rendu tous les détails significatifs concernant les essais, y compris ceux qui figurent dans la liste suivante:

- tension assignée maximale prévue du système;
- température de l'essai;
- description des systèmes d'isolation soumis aux essais (système de référence et système candidat);
- tensions de vieillissement, fréquences et durées des sous-cycles de vieillissement le cas échéant;
- essais de diagnostic y compris les valeurs des facteurs de diagnostic utilisés;
- fabrication des éprouvettes;
- nombre d'échantillons pour chaque tension (essai à tension constante);
- durées individuelles jusqu'à défaillance et modes de défaillance;
- méthode de traitement statistique utilisée pour les données d'essai (par exemple, selon la loi logarithmique normale ou la loi de Weibull) pour déterminer la moyenne logarithmique ou les durées moyennes jusqu'à défaillance ainsi que les limites de confiance;
- graphique d'endurance électrique avec les points moyens ou médians pour chaque contrainte de vieillissement électrique et la droite de régression.

7 Essais fonctionnels mécaniques

Il est admis dans certaines applications que la contrainte mécanique joue le rôle de facteur de vieillissement, soit seule, soit en combinaison avec d'autres facteurs de vieillissement. Le vieillissement mécanique peut être une conséquence de contraintes vibratoires ou de contraintes thermomécaniques.

On ne dispose pas actuellement de suffisamment d'informations techniques pour présenter des procédures d'essai de vieillissement mécanique normalisées.

6.3.3 *Diagnostic tests*

In the course of the electrical functional test, diagnostic tests may be applied. These tests may be

- destructive (e.g., determination of the breakdown voltage of turn insulation);
- potentially destructive (e.g., high voltage proof tests of various parts of the insulation system);
- non-destructive (e.g., loss tangent or partial discharge measurements).

These tests, especially the destructive and potentially destructive tests, may function as alternative methods of determining the end-point, in addition to breakdown during exposure to the electrical ageing factor.

Time elapsed between stopping the electrical ageing and making the diagnostic tests may be specified in subsequent parts of this standard.

6.4 *Analyzing and reporting*

When reporting, it is useful to record all relevant details of the test, including those in the following list:

- maximum intended rated voltage of the system;
- test temperature;
- description of the insulation systems tested (the reference and the candidate systems);
- ageing voltages, frequencies, and ageing sub-cycle lengths if appropriate;
- diagnostic tests including the values of the diagnostic factors used;
- construction of the test object;
- number of test specimens at each voltage (fixed voltage test);
- individual times to failure and failure modes;
- method of statistical treatment used for the test data (for example, log normal or Weibull) to determine log mean or median times to failure, and confidence limits);
- electrical endurance graph with mean or median points for each electrical ageing stress and regression line.

7 **Mechanical functional tests**

It is recognized that mechanical stress in some applications acts as an ageing factor, either alone or in combination with other ageing factors. Mechanical ageing may be a consequence of vibrational stresses and thermo-mechanical stresses.

Sufficient technical information is not available at the present time to permit standard mechanical ageing test procedures to be presented.