

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**CEI
IEC**

TECHNICAL SPECIFICATION

TS 60034-18-34

Première édition
First edition
2000-01

Machines électriques tournantes –

Partie 18-34:

**Evaluation fonctionnelle des systèmes
d'isolation –**

**Procédures d'essai pour enroulements
préformés –**

**Evaluation de l'endurance thermomécanique
des systèmes d'isolation**

Rotating electrical machines –

Part 18-34:

Functional evaluation of insulation systems –

Test procedures for form-wound windings –

**Evaluation of thermomechanical endurance
of insulation systems**



Numéro de référence
Reference number
IEC/TS 60034-18-34:2000

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

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

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**CEI
IEC**

TECHNICAL SPECIFICATION

TS 60034-18-34

Première édition
First edition
2000-01

Machines électriques tournantes –

Partie 18-34:

Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation –

Procédures d'essai pour enroulements préformés –

Evaluation de l'endurance thermomécanique des systèmes d'isolation

Rotating electrical machines –

Part 18-34:

Functional evaluation of insulation systems –

Test procedures for form-wound windings –

Evaluation of thermomechanical endurance of insulation systems

© IEC 2000 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

Q

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives.....	10
3 Considérations générales	12
3.1 Relation avec la CEI 60034-18-1	12
3.2 Processus de vieillissement thermomécanique	12
3.3 Désignation des procédures d'essai	12
3.4 Système d'isolation de référence	12
4 Echantillons et éprouvettes.....	14
4.1 Fabrication.....	14
4.2 Nombre d'échantillons.....	14
5 Cycles de chauffage et de refroidissement.....	14
5.1 Température et durée des cycles de chauffage et de refroidissement	14
5.2 Nombre de cycles	16
6 Procédure d'essai 1 pour barres/bobines en fausses encoches.....	16
6.1 Fausse encoche.....	16
6.2 Support des extrémités des éprouvettes.....	16
6.3 Méthodes de chauffage.....	16
6.4 Méthodes de refroidissement.....	18
6.5 Essais préliminaires de vérification de la qualité et essais de diagnostic	18
6.6 Essais de diagnostic en cours de cyclage.....	20
6.6.1 Périodicité recommandée pour les essais de diagnostic.....	20
6.6.2 Essais de diagnostic proposés sur les barres/bobines.....	20
6.7 Essais finals de diagnostic	20
7 Procédure d'essai 2 pour barres/bobines non maintenues.....	22
7.1 Positionnement des barres/bobines lors de l'essai	22
7.2 Méthode de chauffage.....	22
7.3 Méthode de refroidissement	22
7.4 Essais préliminaires de vérification de la qualité et essais de diagnostic	22
7.5 Essais de diagnostic en cours de cyclage.....	24
7.5.1 Périodicité des essais.....	24
7.5.2 Type d'essais proposés	24
7.6 Essais finals de diagnostic	24
8 Analyse et compte rendu	24
Figure 1 – Détails de la procédure d'essai.....	28
Figure 2 – Schéma du cycle de chauffage et de refroidissement.....	30
Figure 3 – Exemple de fausse encoche avec deux barres	32

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 General considerations	13
3.1 Relationship to IEC 60034-18-1	13
3.2 Thermomechanical ageing process	13
3.3 Designation of test procedure	13
3.4 Reference insulation system	13
4 Test specimens and test objects	15
4.1 Construction	15
4.2 Number of test specimens	15
5 Heating and cooling cycles	15
5.1 Temperature and length of heating and cooling cycles	15
5.2 Number of cycles	17
6 Test procedure 1 for bars/coils in model slots	17
6.1 Model slot	17
6.2 Support for end parts of test objects	17
6.3 Methods of heating	17
6.4 Methods of cooling	19
6.5 Initial quality assurance and diagnostic tests	19
6.6 Diagnostic tests during cycling	21
6.6.1 Recommended frequency of diagnostic tests	21
6.6.2 Suggested diagnostic tests of individual bars/coils	21
6.7 Final diagnostic tests	21
7 Test procedure 2 for unrestrained bars/coils	23
7.1 Positioning the bars/coils for test	23
7.2 Method of heating	23
7.3 Method of cooling	23
7.4 Initial quality assurance and diagnostic tests	23
7.5 Diagnostic tests during cycling	25
7.5.1 Frequency of tests	25
7.5.2 Type of suggested tests	25
7.6 Final diagnostic tests	25
8 Analysing and reporting	25
Figure 1 – Details of test procedure	29
Figure 2 – Heating and cooling cycle schedule	31
Figure 3 – Example of the model slot with two bars	33

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18-34: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation de l'endurance thermomécanique des systèmes d'isolation

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente spécification technique peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

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

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

La CEI 60034-18-34, qui est une spécification technique, a été établie par le sous-comité 2J: Classification des systèmes d'isolation des machines tournantes, du comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

**Part 18-34: Functional evaluation of insulation systems –
Test procedures for form-wound windings –
Evaluation of thermomechanical endurance of insulation systems**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical specification may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

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

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

IEC 60034-18-34, which is a technical specification, has been prepared by subcommittee 2J: Classification of insulation systems for rotating machinery, of IEC technical committee 2: Rotating machinery.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
2J/66/CDV	2J/68/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Cette spécification technique constitue la partie 18-34 d'une série de publications traitant de l'évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation des machines tournantes électriques, les autres parties étant:

CEI 60034-18-1: *Principes directeurs généraux*

CEI 60034-18-21: *Procédures d'essai pour enroulements à fils – Evaluation thermique et classification*

CEI 60034-18-22: *Procédures d'essai pour enroulements à fils – Classification des modifications et des substitutions de composants d'isolation*

CEI 60034-18-31: *Procédures d'essais pour enroulements préformés – Evaluation thermique et classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines jusqu'à et y compris 50 MVA et 15 kV*

CEI 60034-18-32: *Procédures d'essais pour enroulements préformés – Evaluation électrique des systèmes d'isolation utilisés dans les machines jusqu'à et y compris 50 MVA et 15 kV*

CEI 60034-18-33: *Procédures d'essais pour enroulements préformés – Endurance sous contrainte thermique et électrique combinée des systèmes d'isolation utilisés dans les machines jusqu'à et y compris 50 MVA et 15 kV*

Certaines parties sont publiées en tant que sections soit comme Normes internationales, soit comme spécifications techniques ou rapports techniques.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2005. A cette date, la publication sera

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

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

Enquiry draft	Report on voting
2J/66/CDV	2J/68/RVC

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

This technical specification constitutes part 18-34 of a series of publications dealing with the functional evaluation of insulation systems of rotating electrical machines, the other parts being:

IEC 60034-18-1: *General guidelines*

IEC 60034-18-21: *Test procedures for wire-wound windings – Thermal evaluation and classification*

IEC 60034-18-22: *Test procedures for wire-wound windings – Classification of changes and insulation components substitutions*

IEC 60034-18-31: *Test procedures for form-wound windings – Thermal evaluation and classification of insulation systems used in machines up to and including 50 MVA and 15 kV*

IEC 60034-18-32: *Test procedures for form-wound windings – Electrical evaluation and classification of insulation systems used in machines up to and including 50 MVA and 15 kV*

IEC 60034-18-33: *Test procedures for form-wound windings – Multifactor functional evaluation – Endurance under combined thermal and electrical stresses of insulation systems used in machines up to and including 50 MVA and 15 kV*

Some parts are published as sections, some as International Standards or as technical specifications or technical reports.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

La CEI 60034-18-1 présente les principes directeurs généraux d'évaluation et de classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines électriques tournantes.

La présente partie concerne l'évaluation de la tenue au cyclage thermique des systèmes d'isolation à enroulements préformés. Ce type d'endurance est primordial pour les machines tournantes longues (particulièrement celles à refroidissement indirect) et pour les machines soumises à un grand nombre de fortes variations de charge en fonctionnement normal.

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC TS 60034-18-34:2000

Without watermark

INTRODUCTION

IEC 60034-18-1 presents general guidelines for the evaluation and classification of insulation systems used in rotating electrical machines.

This part deals with thermal cycling evaluation of insulation systems for form-wound windings. This kind of endurance is of special importance for long rotating machines (especially indirectly cooled) and machines that are exposed to a very large number of considerable load changes during normal operation.

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC TS 60034-18-34:2000

Withdawn

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18-34: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation de l'endurance thermomécanique des systèmes d'isolation

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60034 donne des procédures d'essai pour l'évaluation de l'endurance au cyclage thermomécanique des systèmes d'isolation à enroulements préformés.

Dans cette évaluation, il est préférable que les performances d'un système candidat soient comparées à celles d'un système d'isolation de référence dont l'expérience en service a été démontrée.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60034. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60034 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60034-1:1996, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*
Amendement 1 (1997)
Amendement 2 (1999)*

CEI 60034-15:1995, *Machines électriques tournantes – Partie 15: Niveaux de tension de tenue au choc des machines tournantes à courant alternatif à bobines stator préformées*

CEI 60034-18-1:1992, *Machines électriques tournantes – Partie 18: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Section 1: Principes directeurs généraux*

CEI 60034-18-32:1995, *Machines électriques tournantes – Partie 18: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Section 32: Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation électrique des systèmes d'isolation utilisés dans les machines jusqu'à et y compris 50 MVA et 15 kV*

CEI 60243-1:1998, *Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai – Partie 1: Essais aux fréquences industrielles*

CEI 60270:1981, *Mesures des décharges partielles*

CEI TR 60894:1987, *Guide de procédure d'essai pour la mesure de la tangente de l'angle de pertes des bobines et barres d'enroulements de machines*

* Il existe une édition consolidée 10.2 (1999) qui comprend la CEI 60034-1 (1996) ainsi que l'amendement 1 (1997) et l'amendement 2 (1999).

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 18-34: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation of thermomechanical endurance of insulation systems

1 Scope

This part of IEC 60034 gives test procedures for the evaluation of thermomechanical cycle endurance of insulation systems for form-wound windings.

In this evaluation, it is preferred that the performance of a candidate system is compared to that of a reference insulation system with proven service experience.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60034. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 60034 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60034-1:1996, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*
Amendment 1 (1997)
Amendment 2 (1999) *

IEC 60034-15:1995, *Rotating electrical machines – Part 15: Impulse voltage withstand levels of rotating a.c. machines with form-wound stator coils*

IEC 60034-18-1:1992, *Rotating electrical machines – Part 18: Functional evaluation of insulation systems – Section 1: General guidelines*

IEC 60034-18-32:1995, *Rotating electrical machines – Part 18: Functional evaluation of insulation systems – Section 32: Test procedures for form-wound windings – Electrical evaluation of insulation systems used in machines up to and including 50 MVA and 15 kV*

IEC 60243-1:1998, *Electrical strength of insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 60270:1981, *Partial discharge measurements*

IEC TR 60894:1987, *Guide for test procedure for the measurement of loss tangent of coils and bars for machine windings*

* There is a consolidated edition 10.2 (1999) which includes IEC 60034-1 (1996) as well as amendment 1 (1997) and amendment 2 (1999).

3 Considérations générales

3.1 Relation avec la CEI 60034-18-1

Il convient que les principes de la CEI 60034-18-1 soient suivis, sauf indication contraire dans les recommandations de la présente partie.

3.2 Processus de vieillissement thermomécanique

Du fait du cyclage thermomécanique, six processus de vieillissement peuvent survenir dans le système d'isolation des bobinages:

- a) perte d'adhérence;
- b) délamination entre les couches d'isolation;
- c) délamination entre une couche d'isolation et la couche conductrice;
- d) abrasion à la surface extérieure de l'isolation;
- e) fissuration circonférentielle de l'isolation (décohésion du ruban/cassure circulaire) particulièrement dans la partie hors fer;
- f) endommagement mécanique de l'isolation, provoqué par la déformation de l'extrémité des spires du bobinage.

3.3 Désignation des procédures d'essai

Selon le processus de vieillissement à simuler, deux procédures d'essai seront décrites.

Procédure d'essai 1, dans laquelle les barres/bobines d'essai du bobinage sont assemblées en fausses encoches simulant les conditions dans une vraie machine, y compris les supports à chaque extrémité des barres/bobines.

Procédure d'essai 2, dans laquelle les barres/bobines sont libres de bouger, sans les contraintes dues à la présence des fausses encoches et des supports d'extrémité.

La procédure d'essai 1 peut être utilisée pour simuler les six processus de vieillissement. C'est la méthode la plus informative pour évaluer les performances d'endurance thermomécanique, car elle simule plus précisément les conditions d'exploitation des bobinages de machines.

La procédure d'essai 2 peut être utilisée pour simuler le processus de vieillissement a) et, dans certains cas, le processus de vieillissement c), à savoir lorsque la conception du bobinage permet un déplacement axial libre des barres/bobines dans les encoches.

Dans chacune des procédures d'essai, les éprouvettes sont exposées au départ à des essais de vérification de la qualité et à des essais de diagnostic. A des instants précisés durant et à la fin du cyclage thermique, les essais de diagnostic sont répétés, après quoi quelques essais destructifs sont réalisés.

3.4 Système d'isolation de référence

Un système d'isolation de référence doit être testé en utilisant la même procédure d'essai que celle du système candidat. Un système d'isolation est qualifié pour servir de système d'isolation de référence, s'il a joué son rôle sans problème durant une durée suffisamment longue dans des conditions types de service pour ce système d'isolation. La classe de température du système d'isolation de référence ne doit pas différer de celle du système d'isolation candidat de plus d'une classe d'isolation.

3 General considerations

3.1 Relationship to IEC 60034-18-1

The principles of IEC 60034-18-1 should be followed, unless the recommendations of this part indicate otherwise.

3.2 Thermomechanical ageing process

As a result of the thermomechanical cycling, six ageing processes can occur in the insulation system of the windings:

- a) loss of adhesion;
- b) delamination between layers of the insulation;
- c) delamination between a layer of the insulation and the conducting layer;
- d) abrasion at the outer surface of the insulation;
- e) circumferential cracking of the insulation (tape separation/girth cracking), especially in the part extending from the slot;
- f) mechanical damage to the insulation caused by distortion of the end turns of the winding.

3.3 Designation of test procedure

Depending upon which ageing processes are to be simulated, two test procedures will be described.

Test procedure 1, in which the test bars/coils of the winding are assembled in model slots simulating the conditions in an actual machine, including the supports at both ends of the bars/coils.

Test procedure 2, in which the bars/coils are free to move, without the restraints caused by the presence of model slots and end supports.

Test procedure 1 can be used to simulate all six ageing processes. This is the most informative method for assessing thermomechanical endurance performance because it simulates more precisely the conditions occurring in the windings of machines in service.

Test procedure 2 can be used to simulate ageing process a) and, in some cases, ageing process c), namely when the winding design allows for free axial movement of the bars/coils in the slots.

In both test procedures, the test objects are initially exposed to quality assurance tests and diagnostic tests. At certain prescribed times during and at the end of the thermal cycling, the diagnostic tests are repeated, after which some destructive tests are performed.

3.4 Reference insulation system

A reference insulation system shall be tested using the same test procedure as for the candidate 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 typical operating conditions for that insulation system. The temperature class of the reference insulation system shall not differ from that of the candidate insulation system by more than one insulation class.

En l'absence d'expérience avec un système de référence adéquat, les variations maximales permises des propriétés du système d'isolation causées par l'essai d'endurance thermomécanique doivent être spécifiées, dans certains cas après accord entre fabricant et utilisateur.

4 Echantillons et éprouvettes

4.1 Fabrication

L'échantillon doit être une vraie barre ou bobine (voir figure 1) d'une machine tournante. L'échantillon doit avoir la même forme et la même longueur que la barre/bobine pouvant être utilisée dans une machine réelle. Il doit être fabriqué en appliquant le système d'isolation sur le conducteur avec la même conception et les mêmes matériaux et en utilisant la même procédure que sur une barre/bobine réelle. La section du conducteur, l'épaisseur d'isolation, les lignes de fuite et les dispositifs anti-effluves doivent être similaires à ceux d'une vraie barre/bobine correspondant à la tension assignée maximale à tester.

Dans la procédure d'essai 1, l'éprouvette consiste en un nombre d'échantillons (voir 4.2) assemblés dans de fausses encoches et supportés comme dans une vraie machine.

4.2 Nombre d'échantillons

Au moins quatre barres ou deux bobines doivent être testées pour chaque essai thermomécanique. Des barres/bobines supplémentaires seront nécessaires pour réguler la température du conducteur et réaliser des essais de perforation sur le jeu de référence (non cyclé) de barres/bobines (voir 5.1, 6.7 et 7.6).

5 Cycles de chauffage et de refroidissement

5.1 Température et durée des cycles de chauffage et de refroidissement

Le cyclage thermomécanique du système d'isolation à tester est accompli par chauffage et refroidissement alternatifs des éprouvettes, entre deux températures limites fixées, supérieure et inférieure, mesurées à la surface des conducteurs haute tension des éprouvettes, dans la partie droite ainsi qu'aux extrémités, afin de minimiser tout effet de radiateur (voir 6.3 a) et 7.2).

La mesure de la température du conducteur peut être effectuée par thermocouples, détecteurs thermorésistifs ou capteurs à fibre optique. Afin d'assurer un bon contact avec la surface des conducteurs, le capteur de température doit être intégré dans la construction de la barre nue, ou inséré dans un trou percé au travers de l'isolation d'une barre de contrôle à part.

La température limite supérieure doit normalement correspondre à la température de classe T_C du système d'isolation. Elle doit être contrôlée à $\pm 3^\circ\text{C}$ près. Comme il se peut souvent que l'impédance thermique change au cours du vieillissement, il est nécessaire de réguler la température du cuivre durant l'essai, au moins sur une barre/bobine. Si l'on sait que l'isolation fonctionnera à une température plus basse que sa température de classe, cette température plus basse peut être utilisée en tant que température limite supérieure de l'essai. La température limite inférieure doit être comprise entre 30°C et 50°C .

Le temps imparti au chauffage comme au refroidissement doit être de 30 min à 60 min, ainsi que montré à la figure 2. Le système d'isolation à tester et celui de référence doivent être essayés avec le même cycle, étant entendu que les températures limites supérieures d'essai seront différentes si les classes de température des systèmes d'isolation diffèrent.

NOTE Pour des machines avec des conditions thermiques de service particulières, des durées plus courtes peuvent être utilisées.

If experience with a suitable reference system is not available, maximum permissible changes of the properties of the insulation system caused by the thermomechanical endurance test shall be specified, in some cases after an agreement between manufacturer and user.

4 Test specimens and test objects

4.1 Construction

The test specimen shall be an actual bar or coil (see figure 1) for a rotating machine. The test specimen shall have the same shape and the same length as the bar/coil that could be used in an actual machine. It shall be manufactured by applying the insulation system to a conductor with the same design and materials and using the same procedure as an actual bar/coil. The conductor cross-section, insulation thickness, creeping distances and corona suppression shall be similar to that of an actual bar/coil of the maximum rated voltage to be tested.

In test procedure 1, the test object comprises a number of test specimens (see 4.2) assembled in model slots and supported as in a real machine.

4.2 Number of test specimens

At least four bars or two coils shall be tested at each thermomechanical test. Additional coils/bars will be necessary to monitor the conductor temperature and to perform breakdown tests on reference (non-cycled) set of bars/coils (see 5.1, 6.7 and 7.6).

5 Heating and cooling cycles

5.1 Temperature and length of heating and cooling cycles

The thermomechanical cycling of the insulation system under test is accomplished by alternatively heating and cooling the test objects between fixed upper and lower limit temperatures, measured at the surface of the high-voltage conductors of the test objects in the straight part and also in the end parts so as to minimize any heat-sink effect (see 6.3 a) and 7.2).

The measurement of the conductor temperature may be accomplished by thermocouples, thermistors or fibre-optic sensors. In order to obtain good contact to the surface of the conductors, the temperature sensor shall be built into the bare-bar construction, or inserted into a hole drilled through the insulation on a separate control bar.

The upper limit temperature shall normally be the class temperature T_c of the insulation system. It shall be controlled within ± 3 °C. Since the thermal impedance often changes with ageing, it is necessary to monitor the copper temperature during the test, at least on one bar/coil. If it is known that the insulation will be operating at a temperature that is lower than its class temperature, this lower temperature may be used as the upper limit temperature in the test. The lower limit temperature shall be a temperature between 30 °C and 50 °C.

The time for heating as well as for the cooling shall be between 30 min and 60 min as shown in figure 2. The insulation system under test and the reference insulation system shall be tested with the same cycle except that the upper limit test temperatures will be different if the temperature classes of the insulation system differ.

NOTE For machines with particular thermal operating conditions, shorter times may be used.

5.2 Nombre de cycles

Les éprouvettes doivent être soumises à un minimum de 500 cycles thermiques. Pour des raisons techniques, ce chiffre peut être augmenté.

6 Procédure d'essai 1 pour barres/bobines en fausses encoches

6.1 Fausse encoche

L'essai thermomécanique selon cette procédure d'essai doit être réalisé sur des barres/bobines placées dans des fausses encoches. Celles-ci doivent satisfaire aux conditions suivantes.

- a) La longueur des fausses encoches et la partie droite hors encoche des barres/bobines doivent être les mêmes que celles d'une machine effective. Voir figure 1.
- b) On choisira plutôt des fausses encoches à tôles empilées, cependant d'autres modèles figurant de façon adéquate la surface d'une encoche et les caractéristiques mécaniques de circuits à tôles peuvent être utilisés. Aucune déformation dimensionnelle de la structure de l'encoche ne doit apparaître durant les essais. Il convient d'inclure de préférence des événements de ventilation, qu'ils soient similaires en largeur, et qu'ils produisent une usure par glissement de la surface de l'isolation identique à celle d'une machine réelle.
- c) Les barres/bobines doivent être montées en fausses encoches comme dans les encoches d'une vraie machine, en utilisant les procédures et les composants normaux de montage. Le serrage des cales et le remplissage d'encoche doivent être uniformes axialement. La position, horizontale ou verticale du modèle, correspondra de préférence à la conception de la machine. Si cela n'est pas le cas, il se peut que le processus de vieillissement rappelé en 3.2 e) ne soit pas simulé correctement.

Pour d'autres détails sur la fausse encoche, voir la note de la figure 3.

6.2 Support des extrémités des éprouvettes

Les extrémités des barres/bobines doivent être supportées comme dans une machine réelle, autant que faire se peut.

6.3 Méthodes de chauffage

La méthode de chauffage doit être choisie de façon à simuler au mieux les gradients thermiques dans l'isolation de la barre/bobine durant l'échauffement d'une machine réelle, aussi bien dans la partie droite qu'aux extrémités. Pour cela, il convient que la température la plus haute soit côté conducteurs en cuivre. Le dispositif de chauffage doit assurer une vitesse de chauffage identique sur tous les échantillons, ce qui peut exiger l'introduction de boucliers ou barrières thermiques pour modifier le flux de chaleur.

Les méthodes de chauffage suivantes peuvent être utilisées.

- a) Chauffage par passage de courant électrique dans les conducteurs

Dans cette méthode, on peut utiliser un courant, soit alternatif soit continu, pour chauffer les barres/bobines. Il convient que les connexions électriques soient normalement dimensionnées et isolées thermiquement pour éviter qu'elles ne deviennent des radiateurs ou des sources de chaleur. Avec le courant alternatif, on recommande pour les connexions aux conducteurs de faire en sorte que la somme des courants à l'intérieur de chaque fausse encoche soit faible, de façon à prévenir tout échauffement excessif des composants magnétiques du modèle par les pertes électromagnétiques.

5.2 Number of cycles

The test objects shall be exposed to a minimum of 500 thermal cycles. For technical reasons, this may be extended.

6 Test procedure 1 for bars/coils in model slots

6.1 Model slot

The thermomechanical test according to this test procedure shall be carried out on bars/coils placed in model slots. These shall satisfy the following requirements.

- a) The length of the model slots and the extension of the bars/coils outside the slot shall be the same as those in an actual machine. See figure 1.
- b) Laminated model slots are preferred, but alternate models which adequately represent the slot surfaces and the mechanical characteristics of laminated cores may be used. Dimensional deformations of the slot structure during the test shall not occur. Ventilation ducts should preferably be included; they should be similar in width and give similar sliding wear to the insulation surface as those in an actual machine.
- c) The bars/coils shall be installed in the model slots as in the slots of an actual machine, using normal manufacturing procedures and components. The tightness of the wedges and side packing shall be uniform axially. It is preferred that the model should be oriented horizontally or vertically according to design. If this is not followed, it is possible that the ageing process given in 3.2 e) will not be simulated properly.

For additional model details, see the note to figure 3.

6.2 Support for end parts of test objects

The end parts of the bars/coils shall be supported as in the actual machine as far as feasible.

6.3 Methods of heating

The method of heating shall be chosen such that the thermal gradients in the bar/coil insulation during heating in an actual machine are simulated both in the straight part and end parts as far as feasible. To obtain this, the temperature should be highest at the copper conductors. The heating arrangements shall provide for equal rates of heating on all samples, which may require the inclusion of thermal guards or barriers changing the heat flow.

The following heating methods may be used.

- a) Heating with electric current through the conductors

In this method, either a.c. or d.c. current can be used to heat the conductors of the bars/coils. The electrical connections should be appropriately sized and thermally insulated to ensure that they do not become heat sinks or heat sources. If a.c. current is used, it is recommended that the connections to the conductors are made in such a way that the sum of the currents inside each model slot is low in order to prevent excess heating of the magnetic components of the model from electromagnetic losses.

b) Chauffage interne par liquide ou vapeur

Lorsque les éprouvettes sont du type à refroidissement direct par eau ou par gaz, le chauffage peut être réalisé avec un liquide chaud ou de la vapeur, passant à travers les conducteurs creux ou les circuits de refroidissement.

c) Combinaison des méthodes a) et b)

Les méthodes de chauffage a) et b) peuvent être combinées, mais la complexité d'une telle combinaison risque de rendre celle-ci moins aisée que soit a) ou soit b) seule.

NOTE Une juste simulation du cyclage thermique demande à ce que l'isolation des éprouvettes ait la même température de surface que dans une vraie machine, particulièrement au début du cycle de refroidissement. Ceci peut nécessiter un chauffage ou un refroidissement supplémentaire du circuit modèle, en fonction de ses caractéristiques thermiques.

6.4 Méthodes de refroidissement

La méthode de refroidissement doit être choisie de façon à simuler les gradients thermiques qui surviennent dans l'isolation d'une machine réelle durant la phase de refroidissement. Les méthodes suivantes peuvent être utilisées.

a) Refroidissement par soufflantes

Avec cette méthode, de l'air forcé est dirigé sur toute la longueur de la surface des barres/bobines, perpendiculairement à leur partie droite. Cette méthode correspond aux barres/bobines à refroidissement externe dans une machine réelle.

b) Refroidissement du circuit modèle par un fluide

Dans cette méthode, la partie droite est refroidie par un fluide circulant dans les circuits de refroidissement du modèle, tandis que les extrémités sont refroidies par air forcé comme dans la méthode a). Cette méthode peut entraîner une vitesse de refroidissement plus élevée que celle de la méthode a). Elle convient également aux barres/bobines à refroidissement externe dans une machine réelle.

c) Refroidissement par fluide interne

Cette méthode est valable pour des barres/bobines à refroidissement interne, soit par conducteurs creux soit par des tubes de refroidissement à l'intérieur du faisceau. Avec cette méthode, un fluide de refroidissement circule dans les conducteurs creux ou dans les tubes à l'intérieur de l'éprouvette.

6.5 Essais préliminaires de vérification de la qualité et essais de diagnostic

Avant de démarrer le premier cycle de vieillissement thermomécanique, les essais suivants de vérification de la qualité doivent être réalisés.

a) Avant la mise en place des barres/bobines dans les fausses encoches et supports d'extrémités:

- inspection visuelle des éprouvettes;
- mesure de la résistance superficielle des revêtements conducteurs;
- mesures de la largeur et de la profondeur en plusieurs endroits dans les parties droites, dans les coudes sortie fer et dans les extrémités des éprouvettes, avec une précision de $\pm 0,03$ mm. Ces endroits doivent être bien repérés, de sorte que les mesures puissent être reprises aux mêmes endroits après cyclage;
- essais sous tension selon la CEI 60243-1 ou la CEI 60034-1;
- pour les bobines multispaires, essais de choc ou entre-spaires à haute fréquence (voir la CEI 60034-15);
- essais de diagnostic selon 6.6.2.

b) Internal heating with liquid or steam

When the test objects are of the directly water-cooled or gas-cooled type, the heating may be performed with hot liquid or steam that is passed through the hollow conductor strands or cooling channels.

c) Combination of methods a) and b)

The heating methods a) and b) may be combined, but the complexity of such a combination will normally make it less desirable than either a) or b) alone.

NOTE A proper simulation of the thermal cycling will require that the insulation on the test objects has the same surface temperature as in an actual machine, especially at the beginning of the cooling cycle. This might require supplementary heating or cooling of the model core, depending upon its thermal characteristics.

6.4 Methods of cooling

The method of cooling shall be chosen so that it simulates the thermal gradients that occur in the insulation of an actual machine during the cooling process. The following methods may be used:

a) Cooling with blowers

With this method, forced air is directed to the bars/coil surfaces in their entire length, at right angle to the straight parts. This method is suitable for bars/coils that are externally cooled in an actual machine.

b) Cooling of the model core with fluid

In this method, cooling fluid is passed through channels in the model core to cool the straight part, while the ends are cooled with forced air as in method a). This method might result in a higher cooling rate than method a). This method is also suitable for bars/coils externally cooled in an actual machine.

c) Cooling with internal fluid

This method is suitable for bars/coils that are internally cooled, either through hollow conductor strands or cooling ducts within the conductor. With this method, a cooling fluid is passed through the hollow strands or ducts within the test object.

6.5 Initial quality assurance and diagnostic tests

Before the first thermomechanical ageing cycle is started, the following quality assurance tests shall be performed.

a) Before the placement of the bars/coils in the model slots and supporting the ends:

- visual inspection of the test objects;
- measurement of the surface resistance of conducting surfaces;
- width and depth measurements at several locations on the straight parts, on the transitions to the end parts and on the end parts of the test objects, to an accuracy of $\pm 0,03$ mm. These locations shall be well identified, so that the measurements can be repeated at the same locations after cycling;
- voltage tests according to IEC 60243-1 or IEC 60034-1;
- in case of multiturn coils, impulse or high-frequency turn-to-turn tests (see IEC 60034-15).
- diagnostic tests according to 6.6.2.

- b) Après la mise en place des barres/bobines dans les fausses encoches et supports d'extrémités:
- essais de diagnostic selon 6.6.2.

6.6 Essais de diagnostic en cours de cyclage

Durant ces essais, les barres/bobines doivent rester en place dans les fausses encoches, comme lors du cyclage.

6.6.1 Périodicité recommandée pour les essais de diagnostic

En plus des essais avant et après cyclage, les essais de diagnostic doivent être réalisés à certains moments en cours de cyclage. Une périodicité ad hoc consiste à tester les échantillons après les cycles n° 10, 50, 100 et 250. Si le cyclage est poursuivi au-delà de 500 cycles, des essais additionnels sont recommandés par multiple de 500 cycles.

6.6.2 Essais de diagnostic proposés sur les barres/bobines

- a) Essai de tangente de l'angle de pertes

Dans cet essai, la tangente de l'angle de pertes est mesurée au moins à $0,2 U_N$ – $0,6 U_N$ et $0,8 U_N$, avec U_N tension assignée (entre phases) correspondant aux barres/bobines.

- b) Essai de décharges partielles

Dans cet essai, les tensions d'apparition et d'extinction des décharges partielles sont déterminées, ainsi que le niveau d'activité de ces décharges jusqu'à une tension de $0,8 U_N$ (voir la CEI 60270).

- c) Mesure de la longueur de l'isolation

Dans cet essai, la distance entre deux positions repérées à la surface de l'isolation est mesurée. Ces mesures doivent être effectuées chaque fois à la même température, de préférence à la température inférieure du cycle. La variation de cette distance peut aussi être calculée à partir des mouvements relatifs entre la surface de l'isolation et le circuit modèle. Une modification permanente de la longueur de l'isolation est le signe d'un début de dégradation mécanique de l'isolation.

- d) Examen visuel

Par suite de la présence du circuit modèle, la possibilité d'examen visuel de l'isolation des éprouvettes en partie droite sera limitée, bien qu'un examen soit toujours envisageable avec un endoscope. Pour les extrémités, il est possible de réaliser un examen plus approfondi, tel que signes de mouvements relatifs et abrasion de l'isolation.

- e) Résistance entre barre/bobine et circuit

- f) Essai sous tension

Les essais sous tension seront en accord avec 6.5 a).

6.7 Essais finals de diagnostic

- a) Avant dépose des barres/bobines hors fausses encoches:

- répéter les essais de diagnostic décrits en 6.6.2;

- b) Après dépose des barres/bobines, hors fausses encoches:

- inspection visuelle, particulièrement de la partie droite;
- mesure de la résistance superficielle des revêtements conducteurs;
- mesures de la largeur et de la profondeur aux mêmes endroits qu'en 6.5;

- b) After the placement of the bars/coils in the model slots and supporting the ends:
- diagnostic tests according to 6.6.2.

6.6 Diagnostic tests during cycling

For these tests, the bars/coils shall remain in the model slots, as during the cycling.

6.6.1 Recommended frequency of diagnostic tests

In addition to the tests before and after the cycling, the diagnostic tests shall be performed at certain stages of the cycling. A suitable frequency of testing is to test the samples after cycle No. 10, 50, 100, and 250. If the test is extended beyond 500 cycles, additional tests are recommended at multiples of 500 cycles.

6.6.2 Suggested diagnostic tests of individual bars/coils

a) Loss tangent test

In this test, loss tangent is measured at least at $0,2 U_N$, $0,6 U_N$, and $0,8 U_N$, where U_N is the rated (line-to-line) voltage class of the bars/coils.

b) Partial discharge test

In this test, the inception and extinction voltage for the partial discharges are determined, as well as the partial discharge activity at voltage up to $0,8 U_N$ (see IEC 60270).

c) Measurement of insulation length

In this test, the length of the insulation, measured between two fixed locations at the surface of the insulation, is measured. These measurements shall be performed at the same temperature each time, preferably at the low temperature of the cycle. The change of the length can also be calculated from the relative movements of the insulation surface to the model core. Permanent changes of the insulation length indicate incipient mechanical failure of the insulation.

d) Visual examination

Because of the presence of the model core, the extent of any visual examination of the insulation on the straight part of the test objects will be limited, although some examination is possible with a borescope. More extensive visual examination is possible for the end windings, for example, for signs of relative movement and abrasion of the insulation.

e) Bar/coil-to-core resistance

f) Voltage test

Voltage tests will be in accordance with 6.5 a).

6.7 Final diagnostic tests

a) Before removal of the bars/coils from the model slots:

- repeat the diagnostic tests described in 6.6.2;

b) After removal of the bars/coils from the model slots:

- visual inspection, especially the straight part;
- measurement of surface resistance of conducting surfaces;
- width and depth measurements at the same location as used in 6.5;

- essai de claquage: soit par un essai de courte durée selon la CEI 60243-1 avec augmentation de la tension par paliers jusqu'au claquage, soit par un essai de longue durée selon la CEI 60034-18-32 avec une tension constante jusqu'à la défaillance. Si l'éprouvette est une bobine multispire, un essai de choc ou entre spires à haute fréquence peut être réalisé, soit avant, soit après l'essai sur l'isolation à la masse. La séquence de ces essais est telle que l'essai reproduisant le type de défaillance le plus probable en service dans le système de référence est réalisé en premier, pour éviter alors toute contrainte mécanique inutile.

7 Procédure d'essai 2 pour barres/bobines non maintenues

7.1 Positionnement des barres/bobines lors de l'essai

Les barres/bobines doivent être placées parallèles et équidistantes entre elles, pour assurer une distribution de température uniforme entre échantillons. Elles doivent être supportées judicieusement afin d'éviter toute contrainte mécanique inutile durant l'essai.

7.2 Méthode de chauffage

La méthode de chauffage doit être choisie de façon à simuler au mieux les gradients thermiques dans l'isolation de la barre/bobine durant l'échauffement d'une vraie machine, aussi bien dans la partie droite qu'aux extrémités. Pour cela, la température la plus haute devrait être côté conducteurs en cuivre. On procède par chauffage des conducteurs par passage de courant électrique soit en alternatif soit en continu. La flexibilité des connecteurs en cuivre entre barres/bobines doit être suffisante pour éviter toute contrainte mécanique inutile des échantillons. Il convient que ces connecteurs soient normalement dimensionnés et isolés thermiquement pour éviter qu'ils ne deviennent des radiateurs ou des sources de chaleur.

7.3 Méthode de refroidissement

La méthode de refroidissement doit être choisie de façon à simuler les gradients thermiques qui surviennent dans l'isolation d'une machine réelle durant la phase de refroidissement.

a) Refroidissement par soufflantes

Le refroidissement est réalisé par des soufflantes qui obligent l'air à lécher les barres/bobines sur toute leur longueur, perpendiculairement aux chants de leur partie droite.

b) Refroidissement par fluide interne

Cette méthode est valable pour des barres/bobines à refroidissement interne, soit par conducteurs creux soit par des tubes de refroidissement à l'intérieur du faisceau. Avec cette méthode, un fluide de refroidissement circule dans les conducteurs creux ou dans les tubes à l'intérieur de l'éprouvette.

7.4 Essais préliminaires de vérification de la qualité et essais de diagnostic

Avant de démarrer le premier cycle de vieillissement thermomécanique, les essais suivants de vérification de la qualité doivent être réalisés:

- inspection visuelle des éprouvettes;
- mesure de la résistance superficielle des revêtements conducteurs;
- mesures de la largeur et de la profondeur en plusieurs endroits dans les parties droites, dans les coudes sortie fer et dans les extrémités des éprouvettes, avec une précision de $\pm 0,03$ mm. Ces endroits doivent être bien repérés, de sorte que les mesures puissent être reprises aux mêmes endroits;
- essais sous tension selon la CEI 60243-1 ou la CEI 60034-1;
- essais de diagnostic selon 7.5.2.

- breakdown test: either by a short-term test according to IEC 60243-1, with the voltage increasing stepwise to breakdown, or a long-term test, according to IEC 60034-18-32, with constant voltage until failure occurs. If the test object is a multitrans coil, an impulse or high-frequency turn-to-turn test may be performed, either before or after the test on the main insulation. The sequence of these tests is such that the test producing the type of failure most likely to occur in service for the reference system is made first to avoid unnecessary mechanical stresses during testing.

7 Test procedure 2 for unrestrained bars/coils

7.1 Positioning the bars/coils for test

The bars/coils shall be placed parallel and equidistant to each other to ensure uniform temperature distribution of the test specimens. They shall be adequately supported in order to avoid unnecessary mechanical stresses during testing.

7.2 Method of heating

The method of heating shall be chosen so that the thermal gradients in the bar/coil insulation during heating in an actual machine are simulated both in the straight part and end parts as far as feasible. To obtain this, the temperature should be highest at the copper conductors. This is obtained by heating with electric current through the conductor. Either a.c. or d.c. current may be used to heat the conductors of the bars/coils. The copper connectors between the bars/coils shall have sufficient flexibility to avoid unnecessary mechanical stresses in the test specimens. They should be appropriately sized and thermally insulated to ensure that they do not become heat sinks or heat sources.

7.3 Method of cooling

The method of cooling shall be chosen so that it simulates the thermal gradients that occur in the insulation of an actual machine during the cooling process.

a) Cooling with blowers

The cooling is performed with blowers that force air to the bars/coils in their entire length, at right angle to the straight parts and the narrow surfaces of the bars/coils.

b) Cooling with internal fluid

This method is suitable for bars/coils that are internally cooled, either through hollow conductor strands or cooling ducts within the conductor. With this method, a cooling fluid is passed through the hollow strands or ducts within the test object.

7.4 Initial quality assurance and diagnostic tests

Before the first thermomechanical ageing cycle is started, the following quality assurance tests shall be performed:

- visual inspection of test objects;
- measurement of the surface resistance of conducting surfaces;
- width and depth measurements at several locations on the straight parts, on the transitions to the end parts and on the end parts of the test objects, with an accuracy of $\pm 0,03$ mm. These locations shall be well identified, so that the measurements can be repeated at the same locations;
- voltage tests according to IEC 60243-1 or IEC 60034-1;
- diagnostic tests according to 7.5.2.

7.5 Essais de diagnostic en cours de cyclage

7.5.1 Périodicité des essais

En plus des essais avant et après cyclage, les essais de diagnostic doivent être réalisés à certains moments au cours du cyclage. Une périodicité ad hoc consiste à tester les échantillons après les cycles n° 10, 50, 100 et 250. Si le cyclage est poursuivi au-delà de 500 cycles, des essais additionnels sont recommandés par multiple de 500 cycles.

7.5.2 Type d'essais proposés

a) Essai de tangente de l'angle de pertes

Dans cet essai, la tangente de l'angle de pertes est mesurée au moins à $0,2 U_N$, $0,6 U_N$ et $0,8 U_N$, avec U_N tension assignée (entre phases) du système d'isolation à tester (voir la CEI 60894).

b) Essai de décharges partielles

Dans cet essai, les tensions d'apparition et d'extinction des décharges partielles sont déterminées, ainsi que le niveau d'activité de ces décharges jusqu'à une tension de $0,8 U_N$ (voir la CEI 60270).

c) Mesure de la longueur de l'isolation

Dans cet essai, la distance entre deux positions repérées à la surface de l'isolation est mesurée. Ces mesures doivent être effectuées chaque fois à la même température, de préférence à la température inférieure du cycle. Une modification permanente de la longueur de l'isolation est le signe d'une dégradation mécanique en cours, de l'isolation.

d) Mesure de la résistance superficielle des revêtements conducteurs.

e) Mesures de la largeur et de la profondeur.

A effectuer comme en 7.4 et aux mêmes endroits.

f) Examen visuel.

7.6 Essais finals de diagnostic

- Répéter les essais de diagnostic décrits en 7.5.2.
- Essai de claquage en alternatif. Soit par un essai de courte durée selon la CEI 60243-1 avec augmentation de la tension par paliers jusqu'au claquage, soit par un essai de longue durée selon la CEI 60034-18-32 avec une tension constante jusqu'à la défaillance. Si l'éprouvette est une bobine multispire, un essai de choc ou entre spires à haute fréquence peut être réalisé, de préférence avant l'essai sur l'isolation à la masse (voir la CEI 60034-15). Il convient que ces essais de claquage en alternatif soient également réalisés sur un jeu de barres/bobines non cyclé, afin d'évaluer l'effet du cyclage.
- Examen visuel après dissection de l'isolation.
- Essais facultatifs, souhaitables dans certains cas pour évaluer un mécanisme de défaillance spécifique, par exemple résistance à la traction ou à la flexion sur des échantillons d'isolation, prélevés avant et après cyclage.

8 Analyse et compte rendu

Pour l'analyse, il est utile de noter tous les détails propres à l'essai, y compris ceux de la liste suivante:

- raisons du choix de la procédure d'essai de ce guide;
- description du système d'isolation testé (systèmes de référence et candidat);
- fabrication des éprouvettes;

7.5 Diagnostic tests during cycling

7.5.1 Frequency of tests

In addition to the tests before and after the cycling, the diagnostic tests shall be performed at certain stages of the cycling. A suitable frequency of testing is to test the samples after cycles No. 10, 50, 100, and 250. If the test is extended beyond 500, additional tests are recommended at multiples of 500 cycles.

7.5.2 Type of suggested tests

a) Loss tangent test

In this test, loss tangent is measured at least at $0,2 U_N$, $0,6 U_N$, and $0,8 U_N$, where U_N is the rated (line-to-line) voltage of the insulation system under test (see IEC 60894).

b) Partial discharge test

In this test, the inception and extinction voltage for the partial discharges are determined, as well as the partial discharge activity at voltages up to $0,8 U_N$ (see IEC 60270).

c) Measurement of insulation length

In this test, the length of the insulation, measured between two fixed locations at the surface of the insulation, is measured. These measurements shall be performed at the same temperature each time, preferably at the lower temperature of the cycle. Permanent changes of the insulation length indicate incipient mechanical failure of the insulation.

d) Measurement of surface resistance of conducting surfaces

e) Width and depth measurements

These shall be performed as in 7.4 and at the same locations.

f) Visual examination.

7.6 Final diagnostic tests

- Repeat the diagnostic tests described in 7.5.2.
- AC breakdown test. Either by a short-term test according to IEC 60243-1, with the voltage increasing stepwise to breakdown, or a long-term test according to IEC 60034-18-32, with constant voltage until failure occurs. If the test object is a multiturn coil, an impulse or high-frequency turn-to-turn test may be performed, preferably before the test on the main insulation (see IEC 60034-15). These a.c. breakdown tests should also be performed on a non-cycled set of bars/coils for evaluation of the effect of the cycling.
- Visual examination after dissection of the insulation.
- Optional tests, desirable in special cases to evaluate a specific failure mechanism, for instance tensile or flexural strength on insulation specimens, both before and after the cycling.

8 Analysing and reporting

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

- reasons for choosing the test procedure of this guide;
- description of the insulation system tested (the reference and the candidate systems);
- construction of the test objects;

- construction du circuit modèle et des supports d'extrémités le cas échéant;
- nombre d'éprouvettes utilisées;
- températures maximale et minimale et durée des cycles de chauffage et de refroidissement;
- nombre de cycles de vieillissement utilisé pour l'essai;
- résultats des essais préliminaires de vérification de la qualité et des essais de diagnostic;
- résultats des essais de diagnostic durant le cyclage;
- résultats des essais finals de diagnostic.

L'analyse de l'essai de cyclage thermomécanique consiste à comparer les systèmes d'isolation de référence et candidat par rapport aux mesures réalisées durant et après cyclage. La comparaison doit être basée sur la variation des mesures de diagnostic elles-mêmes, et sur les essais finals destructifs. En particulier la comparaison peut porter sur les éléments suivants:

- variation de l'augmentation de la tangente de l'angle de pertes au cours du cyclage, mesurée entre les tensions d'essai maximale et minimale;
- variation des tensions d'apparition et d'extinction des décharges partielles durant le cyclage;
- variation du niveau d'activité des décharges partielles à $0,8 U_N$ durant le cyclage;
- variation des mesures de largeur et de profondeur au cours du cyclage;
- modification permanente de la longueur de l'isolation durant le cyclage;
- changement de la résistance superficielle des revêtements conducteurs;
- constat visuel d'abrasion sur la partie droite (si l'essai comportait des fausses encoches);
- constat visuel de fissures à la surface de l'isolation;
- tension de claquage lors de l'essai final de courte durée sous tension alternative, ou le temps jusqu'à défaillance lors de l'essai final de longue durée sous tension alternative, valeurs comparées à celles obtenues sur les barres/bobines non vieilles;
- constat visuel de dégradation lors de la dissection finale de l'isolation.

Au cours de la comparaison des systèmes d'isolation candidat et de référence, on attachera le plus d'importance aux mesures qui ont trait au processus de vieillissement à étudier (voir 3.2).