

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
34-18-33**

Première édition
First edition
1995-03

Machines électriques tournantes –

Partie 18:

Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation –
Section 33: Procédures d'essai pour enroulements
préformés – Evaluation fonctionnelle à plusieurs
facteurs – 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

Rotating electrical machines –

Part 18:

Functional evaluation of insulation systems –
Section 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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 34-18-33: 1995

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

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

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

Terminologie

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

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

Symboles graphiques et littéraux

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

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

et pour les appareils électromédicaux,

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

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

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

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

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

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

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

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

Terminology

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

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

Graphical and letter symbols

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

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

and for medical electrical equipment,

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

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

IEC publications prepared by the same technical committee

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

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

**CEI
IEC
34-18-33**

Première édition
First edition
1995-03

Machines électriques tournantes –

Partie 18:

Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation –
Section 33: Procédures d'essai pour enroulements
préformés – Evaluation fonctionnelle à plusieurs
facteurs – 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

Rotating electrical machines –

Part 18:

Functional evaluation of insulation systems –
Section 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

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
 Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Généralités	12
3.1 Relation avec la section 1	12
3.2 Désignation des procédures d'essai	12
3.3 Système d'isolation de référence	12
3.4 Vérification des essais de diagnostic	12
3.5 Caractéristiques des procédures d'essai	12
3.6 Moyens de chauffage et définition du niveau de contrainte thermique	14
3.7 Moyens de vieillissement électrique	16
3.8 Définition de la durée du sous-cycle de vieillissement	18
3.9 Conditions de service de référence	18
4 Echantillons	20
4.1 Construction des échantillons	20
4.2 Nombre d'échantillons	20
4.3 Essais de vérification de la qualité	20
4.4 Essais préliminaires de diagnostic	22
5 Sous-cycle de vieillissement	22
5.1 Niveaux des contraintes de vieillissement	22
5.2 Durée et nombre des sous-cycles de vieillissement	26
5.3 Procédure 1: sous-cycle de vieillissement avec contraintes de vieillissement simultanément	28
5.4 Procédure 2: sous-cycle de vieillissement avec contraintes thermiques et électriques appliquées séquentiellement	28
5.5 Procédure 3: sous-cycle de vieillissement lorsqu'une procédure à point unique est applicable	28
6 Sous-cycle de diagnostic	30
6.1 Essais mécaniques	30
6.2 Essais d'humidité	30
6.3 Essais de tension	32
6.4 Autres essais de diagnostic	34
7 Analyse des données, compte rendu et évaluation	36
7.1 Analyse des données	36
7.2 Compte rendu	36
7.3 Evaluation	36
Annexe A	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 General	13
3.1 Relationship to section 1	13
3.2 Designation of test procedures	13
3.3 Reference insulation system	13
3.4 Verification of diagnostic tests	13
3.5 Characteristics of test procedures	13
3.6 Means of heating and definition of thermal stress level	15
3.7 Means of electrical ageing	17
3.8 Definition of ageing sub-cycle duration	19
3.9 Reference operating conditions	19
4 Test objects	21
4.1 Construction of test objects	21
4.2 Number of test specimens	21
4.3 Quality assurance tests	21
4.4 Initial diagnostic tests	23
5 Ageing sub-cycle	23
5.1 Ageing stress levels	23
5.2 Duration and number of ageing sub-cycles	27
5.3 Procedure 1: ageing sub-cycle with ageing stresses applied simultaneously ..	29
5.4 Procedure 2: ageing sub-cycle with sequentially applied thermal and electrical stresses	29
5.5 Procedure 3: ageing sub-cycle when single-point procedure is applicable	29
6 Diagnostic sub-cycle	31
6.1 Mechanical tests	31
6.2 Moisture tests	31
6.3 Voltage tests	33
6.4 Other diagnostic tests	35
7 Analyzing the data, reporting and evaluation	37
7.1 Analyzing the data	37
7.2 Reporting	37
7.3 Evaluation	37
Annex A	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Section 33: Procédures d'essais pour enroulements préformés – Evaluation fonctionnelle à plusieurs facteurs – 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

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles 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.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

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

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

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

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 cooperation 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, 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

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

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

La CEI 34-18-33, rapport technique de type 2, a été établie par le sous-comité 2J: Classification des systèmes d'isolation des machines tournantes, du comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

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

Projet de comité	Rapport de vote
2J(SEC)29	2J(SEC)38

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

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.4.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine de l'évaluation des systèmes d'isolation des machines électriques tournantes car il est urgent d'avoir des indications sur la meilleure façon d'utiliser les normes dans ce domaine afin de répondre à un besoin déterminé.

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

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

L'annexe A fait partie intégrante de ce rapport technique.

IEC 34-18-33, which is a technical report of type 2, has been prepared by sub-committee 2J: Classification of insulation systems for rotating machinery, of IEC technical committee 2: Rotating machinery.

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

Committee draft	Report on voting
2J(SEC)29	2J(SEC)38

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

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.4.2.2 of part 1 of the IEC/ISO Directives) as a "prospective standard for provisional application" in the field of the evaluation of insulating systems for rotating electrical machines because there is an urgent requirement for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

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

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

Annex A forms an integral part of this technical report.

INTRODUCTION

La section 1 de la CEI 34-18 présente les principes directeurs généraux d'évaluation et de classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines tournantes.

La section 33 traite exclusivement des systèmes d'isolation pour enroulements préformés et porte essentiellement sur l'évaluation fonctionnelle à plusieurs facteurs, limitée au vieillissement thermique et électrique. Elle est destinée à être un rapport technique de base, à partir duquel la norme d'essai pourra être développée.

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC TS 60034-18-33:1995

Withdrawn

INTRODUCTION

Section 1 of IEC 34-18 presents general guidelines for the evaluation and classification of insulation systems used in rotating machines.

Section 33 deals exclusively with insulation systems for form-wound windings, and concentrates on multifactor functional evaluation limited to thermal and electrical ageing. It is intended to be a basic technical report, from which the test standard will be developed.

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC TS 60034-18-33:1995

Withdrawn

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Section 33: Procédures d'essais pour enroulements préformés – Evaluation fonctionnelle à plusieurs facteurs – 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

1 Domaine d'application

Cette section de la CEI 34-18 est un rapport technique qui décrit les procédures d'essai pour l'évaluation de l'endurance à plusieurs facteurs des systèmes d'isolation, dans les cas où les facteurs de vieillissement thermique et électrique sont significatifs. Ces procédures sont destinées aux systèmes d'isolation utilisés ou que l'on se propose d'utiliser, dans les machines électriques à courant alternatif à enroulements préformés, jusqu'à et y compris 50 MVA et 15 kV. Les procédures d'essai sont comparatives puisque la performance d'un système d'isolation candidat est comparée à celle 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 le présent Rapport technique. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision, et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent Rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 34-1: 1994, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 34-15: 1995, *Machines électriques tournantes – Partie 15: Niveaux de tension de tenue au choc des machines tournantes à courant alternatif à bobines stator préformées*

CEI 34-18-1: 1992, *Machines électriques tournantes – Partie 18: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation des machines électriques tournantes – Section 1: Principes directeurs généraux*

CEI 34-18-32: 1995, *Machines électriques tournantes – Partie 18: Evolution 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 727-1: 1982, *Evaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique – Partie 1: 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 – Partie 1: Procédures d'essai*

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 18: Functional evaluation of insulation systems –

Section 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

1 Scope

This section of IEC 34-18 is a technical report that describes test procedures for evaluation of multifactor endurance of insulation systems in those cases where both thermal and electrical ageing factors are significant. The procedures are intended for insulation systems used, or proposed to be used, in a.c. electrical machines using form-wound windings up to and including 50 MVA and 15 kV. The test procedures are comparative in nature, so that the performance of a candidate insulation system is compared to that of a reference insulation system with proven service experience. The evaluation described in this technical report does not include stress grading.

2 Normative references

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

IEC 34-1: 1994, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 34-15: 1995, *Rotating electrical machines – Part 15: Impulse voltage withstand levels of rotating a.c. machines with form-wound stator coils*

IEC 34-18-1: 1992, *Rotating electrical machines – Part 18: Functional evaluation of insulation systems – Section 1: General guidelines*

IEC 34-18-32: 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 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 Généralités

3.1 Relation avec la section 1

Les principes de la section 1 de la CEI 34-18-1 doivent être suivis, sauf indication contraire dans les recommandations ou propositions de la présente section.

3.2 Désignation des procédures d'essai

Il est proposé, pour la description abrégée des procédures d'essais, que la désignation des procédures, telle qu'elle apparaît dans le tableau 1, soit utilisée. La désignation d'une procédure d'essai à plusieurs facteurs, décrite dans cette publication, sera ainsi: CEI 34 18-33 Procédure N, où N est le numéro de la procédure sélectionnée dans le tableau 1.

3.3 Système d'isolation de référence

Un système d'isolation de référence doit être essayé selon une procédure d'essai équivalente à celle utilisée pour le système candidat, dans le même laboratoire, en utilisant les mêmes équipements d'essais. Les performances du système d'isolation de référence doivent être établies à partir de l'expérience en service, dans des conditions de fonctionnement type, et dans la gamme des conditions de fonctionnement de référence (voir 3.9). Si le système d'isolation a été testé précédemment, un seul point sur le système de référence suffit pour confirmer la procédure d'essai.

Etant donné que les valeurs des accélérations ne sont pas connues dans les conditions d'essais à plusieurs facteurs, cette prescription ne peut être satisfaite qu'en utilisant des niveaux virtuellement identiques de facteurs de vieillissement pour les deux systèmes.

NOTE - Il est possible que les valeurs réelles des accélérations, dans les essais à plusieurs facteurs du système de référence et du système candidat, ne soient pas identiques, même lorsque les niveaux des facteurs de vieillissement électrique et thermique sont identiques pour les deux systèmes.

3.4 Vérification des essais de diagnostic

Selon le cas, on pourra effectuer des essais préliminaires de vieillissement thermique qui suivent les principes donnés en 5.3.4 de la CEI 34-18-1 pour vérifier la faisabilité du sous-cycle de diagnostic.

3.5 Caractéristiques des procédures d'essai

3.5.1 Caractéristiques générales

En général, les essais réalisés suivant ce rapport technique sont effectués en cycles, chacun de ces cycles comprenant un sous-cycle de vieillissement et un sous-cycle de diagnostic.

3.5.2 Sous-cycle de vieillissement

Le sous-cycle de vieillissement comprend à la fois le vieillissement thermique et électrique réalisé simultanément ou séquentiellement.

3 General

3.1 Relationship to section 1

The principles of IEC 34-18-1 shall be followed, unless the recommendations or proposals of this section indicate otherwise.

3.2 Designation of test procedures

It is proposed, when describing the test procedure in short form, that the designation of procedures from table 1 are used. Designation of a multifactor test procedure described in this technical report will then be 34-18-33 Procedure N, where N is the number of the selected procedure from table 1.

3.3 Reference insulation system

A reference insulation system is to be tested using a test procedure equivalent to that used for the candidate system in the same laboratory, using the same test equipment. The performance of the reference insulation system shall be established by service experience under typical operating conditions in the range of the reference operating conditions (see 3.9). If the reference system has been tested previously, then a single-point test on the reference system is adequate to confirm the test procedure.

Since the values of accelerations are not known in the multifactor testing conditions, this requirement can be fulfilled only by using virtually identical levels of ageing factors for both systems.

NOTE – It is possible that the actual values of accelerations in the multifactor testing of the reference and candidate systems are not identical, even when the levels of both the electrical and thermal ageing factors are identical for the two systems.

3.4 Verification of diagnostic tests

Preliminary thermal ageing tests that follow the principles given in 5.3.4 of IEC 34-18-1, to check the suitability of the diagnostic sub-cycle, may be performed, when appropriate.

3.5 Characteristics of test procedures

3.5.1 General characteristics

In general the tests according to this technical report are performed in cycles, each cycle consisting of an ageing sub-cycle and a diagnostic sub-cycle.

3.5.2 Ageing sub-cycle

The ageing sub-cycle includes both thermal and electrical ageing, performed either simultaneously or sequentially.

Les essais de vieillissement à plusieurs facteurs peuvent se trouver compliqués par des effets d'interaction. Lorsqu'une interaction est présente entre deux facteurs d'influence, le vieillissement provoqué par un facteur de vieillissement peut changer en raison de la présence de l'autre facteur (interaction directe), ou en raison du vieillissement provoqué par l'autre facteur (c'est l'interaction indirecte). La procédure 3 est simplifiée et plus courte lorsqu'on la compare aux deux autres. Toutefois son utilisation est limitée aux changements mineurs, ou non voulus, dans le système d'isolation.

L'interaction directe peut être reproduite seulement par un essai de vieillissement à plusieurs facteurs simultanés. L'interaction indirecte peut être reproduite aussi bien dans les essais de type séquentiel que simultané.

En 5.1.3, des directives sont données pour les procédures d'essai lorsqu'une interaction est présente. De plus amples informations sont fournies à l'annexe A à propos de ces interactions.

Trois procédures différentes, pour les sous-cycles de vieillissement, sont présentées dans le tableau 1 et décrites en détail dans l'article 5. Les procédures 1 et 2 donnent une comparaison d'ensemble de la durée de vie en essai espérée avec plusieurs combinaisons de contraintes thermiques et électriques.

Tableau 1 – Désignation des sous-cycles de vieillissement

Numéro N de la procédure d'essai	Sous-cycle de vieillissement	Para-graphe	Description
1	Sous-cycle de vieillissement avec contraintes de vieillissement appliquées simultanément	5.3	Les contraintes de vieillissement sont appliquées simultanément pendant le sous-cycle de vieillissement.
2	Sous-cycle de vieillissement avec contraintes appliquées séquentiellement	5.4	Cette procédure peut être utilisée plus particulièrement dans le cas où il semble plausible que des interactions directes entre les facteurs de vieillissement thermique et électrique n'affectent pas notablement les résultats de l'essai. Voir annexe.
3	Procédure à point unique similaire à 5.3.2.2 dans la CEI 34-18-1	5.5	Cette procédure fournit une comparaison avec une seule combinaison de contraintes thermiques et électriques. Cette procédure d'essai plus courte fournit des informations réduites mais parfois suffisantes sur les performances du système candidat.

3.5.3 Sous-cycle de diagnostic

Le sous-cycle de diagnostic peut comporter des essais mécaniques, des essais d'humidité, des essais de tension et d'autres essais de diagnostic, selon le cas. Lors de la sélection de ces essais, il convient d'utiliser les conditions de fonctionnement de référence (voir 3.9). Les essais de diagnostic sont généralement appliqués dans l'ordre indiqué ci-dessus.

3.6 Moyens de chauffage et définition du niveau de contrainte thermique

3.6.1 Méthodes de chauffage

Tous les moyens de chauffage appropriés, par exemple ceux présentés dans la CEI 34-18-1, peuvent être utilisés. Il convient de chauffer les échantillons dans des conditions représentatives du service normal.

The multifactor ageing tests can be complicated by the effects of interactions. When interaction is present between two factors of influence, the ageing caused by an ageing factor can change, due to the presence of the other factor (this is direct interaction); or due to the ageing caused by the other factor (this is indirect interaction). Procedure 3 is simplified and shorter when compared to the other two. However, its applicability is limited to minor or no intended changes in the insulation system.

Direct interaction can be reproduced only in a simultaneous multifactor ageing test. Indirect interaction can be reproduced in both simultaneous and sequential type tests.

In 5.1.3, guidelines are given for testing procedures when interaction occurs. In annex A, more information is given about interactions.

Three different procedures for ageing sub-cycles are presented in table 1 and described in detail in clause 5. Procedures 1 and 2 provide a comprehensive comparison of the test life expectancy under several combinations of thermal and electrical stresses.

Table 1 – Designation of ageing sub-cycles

Number N of the test procedure	Ageing sub-cycle	Sub-clause	Description
1	Ageing sub-cycle with ageing stresses applied simultaneously	5.3	Ageing stresses are applied simultaneously during the ageing sub-cycle.
2	Ageing sub-cycle with sequentially applied ageing stresses	5.4	This procedure may be used, particularly in those cases, where it seems likely that direct interactions between thermal and electrical ageing factors do not affect the test results appreciably. See annex.
3	Single-point procedure similar to 5.3.2.2 in IEC 34-18-1.	5.5	This procedure provides the comparison at only one combination of thermal and electrical stress. This shorter test procedure results in less information, but which sometimes may be sufficient, on the performance of the candidate system.

3.5.3 Diagnostic sub-cycle

The diagnostic sub-cycle may consist of mechanical tests, moisture tests, voltage tests and other diagnostic tests, as appropriate. When selecting these tests, the set of reference operating conditions (see 3.9) should be used as guidance. The diagnostic tests are usually applied in the order listed above.

3.6 Means of heating and definition of thermal stress level

3.6.1 Methods of heating

All appropriate means of heating, for example those presented in IEC 34-18-1, may be used. The specimens should be heated up at a rate typical of normal service.

3.6.2 Niveau de contrainte thermique

Chaque fois que possible, le niveau de contrainte thermique est défini comme étant la température moyenne du conducteur dans la partie centrale de l'encoche. Lorsqu'il est jugé impossible d'effectuer une évaluation précise de cette température, la température de la surface extérieure de l'isolation principale, dans la partie médiane de l'encoche, peut être utilisée.

La méthode utilisée pour mesurer le niveau de contrainte thermique doit être identique pour le système candidat et le système de référence. Lorsqu'un chauffage au four est utilisé, la température de ce dernier peut fournir une valeur acceptable de la contrainte thermique, mais seulement après validation au moyen de la procédure donnée en 3.6.3.

Lorsque la contrainte thermique est fournie par un courant de chauffage, la température du conducteur, obtenue au moyen des mesures de résistance est une valeur acceptable de la contrainte thermique, si des précautions sont prises pour maintenir une température constante à ± 5 K entre échantillons et en leur sein.

3.6.3 Techniques de mesure de la contrainte thermique

Il est recommandé d'effectuer la mesure de température en deux fois, dans les cas où les contraintes électrique et thermique sont appliquées simultanément:

- a) une première fois, à l'équilibre, la contrainte thermique seule étant appliquée;
- b) une deuxième fois, également à l'équilibre, mais après l'application complémentaire de la contrainte électrique.

Les deux températures sont notées aux fins d'information, avec la température la plus élevée donnant le niveau de contrainte thermique.

NOTES

1 La mesure de la température, la deuxième fois, est effectuée avec plus de sûreté si l'on utilise la technique de la courbe de refroidissement extrapolée immédiatement après l'arrêt de la contrainte électrique; ou au moyen de capteurs à fibres optiques.

2 Des températures locales plus élevées peuvent se produire (par exemple dans la zone de répartition des contraintes). Ces températures peuvent être déterminées, par exemple, en utilisant un détecteur infrarouge. Si des défaillances surviennent systématiquement en ces points, les contraintes de vieillissement sont alors, peut-être, trop importantes pour la technique utilisée de répartition de tension. Le problème peut être éventuellement résolu en réduisant la contrainte de vieillissement ou en améliorant la répartition de tension.

3.7 Moyens de vieillissement électrique

Il est recommandé d'utiliser une tension à fréquence industrielle pour produire le vieillissement électrique. La tension de vieillissement en courant alternatif est appliquée entre le circuit magnétique du stator ou la couche conductrice externe à la surface de l'échantillon et les conducteurs.

Pour réduire la durée de l'essai, une fréquence accrue, jusqu'à 10 fois la fréquence industrielle, peut être utilisée. Toutefois, il convient de veiller à ce que les pertes diélectriques n'augmentent pas la température de l'isolation dans des proportions telles que les résultats en soient affectés. La même fréquence doit être utilisée pour le système de référence et le système candidat.

NOTE - Comme précisé dans la CEI 34-18-1 et dans la CEI 34-18-32, l'accélération réelle obtenue en augmentant la fréquence peut différer de la valeur escomptée de manière imprévisible.

3.6.2 Thermal stress level

Where practicable, the thermal stress level is defined as the average conductor temperature in the centre section of the slot section. Where it is considered impracticable to make an accurate assessment of this temperature, the temperature of the outer surface of the main insulation in the middle section of the slot section may be used.

The method used for the measurement of thermal stress level shall be the same for the candidate and the reference systems. Where oven heating is applied, the oven temperature may provide an acceptable value of thermal stress, but only when it has been validated by the procedure given in 3.6.3.

Where thermal stress is provided by current heating, the conductor temperature as obtained from resistance measurements is an acceptable value of thermal stress if precautions are taken to maintain constant temperature with ± 5 K between specimens and within them.

3.6.3 Thermal stress measuring techniques

It is recommended that the temperature measurement be made in two steps in cases when the electrical and thermal ageing stresses are applied simultaneously:

- a) first, at equilibrium with only the thermal stress applied;
- b) a second time, again at equilibrium, but after the additional application of the electrical stress.

Both temperatures are recorded for information, with the higher temperature denoting the thermal stress level.

NOTES

- 1 Measurement of the temperature in the second phase is most safely carried out using the extrapolated cooling curve technique, immediately after the removal of the electrical stress; or by fibre-optic sensors.
- 2 Higher local temperatures can occur (for example at the stress grading area). These temperatures may be determined, for example, by using an IR detector. If failures occur systematically at these points then the ageing stresses possibly can be too high for the used version of stress grading. This problem may be solved by a reduction in ageing stress, or an improvement of the stress grading.

3.7 Means of electrical ageing

It is recommended that power frequency voltage be used to produce electrical ageing. The a.c. ageing voltage is applied between the stator core, or the outer conductive layer on the surface of the test specimen and the conductors.

To reduce the duration of the test, an increased frequency up to 10 times the power frequency may be used. However, care should be taken that the dielectric losses do not increase the temperature of the insulation so much that the results are affected. The same frequency shall be used for the candidate and reference system.

NOTE – As stated in IEC 34-18-1 and in IEC 34-18-32, the real acceleration achieved by increasing the frequency can deviate from the expected value in an unpredictable manner.

3.8 Définition de la durée du sous-cycle de vieillissement

3.8.1 Vieillissement simultané

Le début du sous-cycle de vieillissement sera le moment où les facteurs de vieillissement sont appliqués, et sa fin le moment où ces facteurs cessent d'être appliqués.

3.8.2 Vieillissement séquentiel

Lorsque les facteurs de vieillissement sont appliqués séquentiellement, la définition ci-dessus s'applique séparément aux parties du vieillissement thermique et électrique du sous-cycle.

La durée du sous-cycle est la durée de l'une ou l'autre des parties du vieillissement thermique ou électrique de ce sous-cycle.

La durée des séquences thermique et électrique du sous-cycle doit être identique, à moins que les temps de fonctionnement relatifs pour le vieillissement thermique et électrique en service ne soient notablement différents. Dans ce cas, les deux durées des séquences thermique et électrique du sous-cycle devront être mentionnées dans le compte rendu.

3.9 Conditions de service de référence

Les conditions de service de référence sont les niveaux les plus sévères de tous les facteurs de vieillissement ou de diagnostic pour lesquels le système d'isolation a été conçu. Les conditions de service doivent être définies. Dans les procédures d'évaluation thermique et électrique à plusieurs facteurs, les niveaux et les types des facteurs de diagnostic et des facteurs de vieillissement doivent dépendre des conditions de service de référence.

3.9.1 Facteurs de vieillissement de référence

Comme précisé dans le domaine d'application de ce rapport technique, les facteurs de vieillissement thermique et électrique sont supposés être les facteurs de vieillissement les plus significatifs. Leurs niveaux dépendent de la température de classe et de la tension assignée maximale prévue pour le système d'isolation. Voir 5.1.1 pour les valeurs.

3.9.2 Facteurs de diagnostic de référence

Les facteurs de diagnostic de référence peuvent inclure:

- a) l'exposition maximale à l'humidité prévisible en service;
- b) la contrainte mécanique maximale, qui peut agir sur la partie de l'enroulement que simule l'éprouvette, par exemple les contraintes dues aux courants transitoires lors du démarrage;
- c) la surtension transitoire maximale escomptée, à partir de laquelle les surtensions transitoires maximales entre spires peuvent être évaluées.

3.8 *Definition of ageing sub-cycle duration*

3.8.1 *Simultaneous ageing*

The ageing sub-cycle will be considered to start at the time when the ageing factors are applied, and to end when the ageing factors cease to be applied.

3.8.2 *Sequential ageing*

When ageing factors are applied sequentially, the definition above applies separately to the thermal and electrical ageing sections of the sub-cycle.

The duration of the sub-cycle is the duration of either the thermal or electrical ageing section of the sub-cycle.

The duration of the thermal and electrical sections of the sub-cycle shall be identical, unless the relative operating times for thermal and electrical ageing in service are clearly different. In that case, the duration of both the thermal and electrical sections of the sub-cycle shall be reported.

3.9 *Reference operating conditions*

Reference operating conditions consist of the most severe levels of all the ageing and diagnostic factors for which the insulation system is designed. The reference operating conditions shall be defined. In the thermal-electrical multifactor evaluation procedures, the levels and types of diagnostic factors and the levels of ageing factors shall depend on the reference operating conditions.

3.9.1 *Reference ageing factors*

As stated in the scope of this technical report, thermal and electrical ageing factors are assumed to be the most significant ageing factors. Their levels are dependent on class temperature and maximum intended rated voltage of the insulation system. See 5.1.1 for their values.

3.9.2 *Reference diagnostic factors*

The reference diagnostic factors may include:

- a) maximum expected exposure to moisture in service;
- b) maximum mechanical stress, which can act upon that section of winding which the test object simulates, for example stresses due to transient currents at start;
- c) maximum expected transient overvoltage, from which the maximum interturn transient overvoltages can be estimated.

4 Epreuves

4.1 Construction des épreuves

4.1.1 Aspects généraux

Les épreuves doivent être fabriquées de façon à représenter de manière adéquate la configuration du composant d'enroulement fini devant être évalué et doivent être soumises aux procédés de fabrication complets, normaux ou prévus, autant que faire se peut. Si la rétention mécanique de l'isolation en service, par exemple la façon de fixer les bobines ou les barres dans les encoches, ou la structure support des développantes, est considérée influencer les processus de vieillissement, il convient que cette contrainte soit simulée dans les épreuves.

Lorsque des bobines ou des barres unitaires sont utilisées comme modèles, les lignes de fuite et les systèmes répartiteurs de tension, si nécessaire, doivent être adaptés aux contraintes appliquées pendant les essais. Il convient qu'une électrode s'étende sur toute la longueur de l'encoche du modèle et entoure la totalité de la circonférence de la section de la bobine. Il convient que les détails fournis dans la CEI 727-1 soient observés.

4.1.2 Considérations sur les spires et les fils des épreuves

Lorsqu'une isolation entre spires est testée à titre de diagnostic, il est généralement nécessaire d'utiliser des bobines complètes afin d'inclure les effets possibles de la mise en forme et du renforcement du conducteur.

Lorsqu'un essai de diagnostic est effectué avec une tension de choc, il convient que le nombre de spires dans la bobine soit aussi réduit que possible en fonction du système d'isolation, afin d'obtenir la contrainte la plus élevée sur l'isolation entre spires.

Lorsqu'il est nécessaire d'appliquer une tension à fréquence industrielle entre les spires, il convient que la bobine soit, de préférence, roulée avec deux conducteurs parallèles (bifilaires), sinon la bobine doit être coupée au niveau des développantes. Lorsque des bobines à imprégnation sous vide et pression sont utilisées, le perçage et la séparation des conducteurs dans cette zone doivent être faits avant imprégnation.

4.2 Nombre d'échantillons

Il convient qu'un nombre adéquat d'échantillons soit vieilli à chaque combinaison de températures et de tension de vieillissement utilisées, afin d'obtenir une confiance statistique satisfaisante. Ce nombre ne doit pas être inférieur à cinq.

NOTE - Si des barres ou des demi-bobines sont utilisées, le nombre minimum est 5 barres ou demi-bobines. Si des bobines complètes sont utilisées, le nombre minimum est de 5 bobines complètes.

4.3 Essais de vérification de la qualité

Les essais de vérification de la qualité suivants seront réalisés avant de commencer le premier sous-cycle de vieillissement thermique:

- a) examen visuel des échantillons;
- b) essais de tension selon la CEI 34-1.

4 Test objects

4.1 Construction of test objects

4.1.1 General aspects

Test objects shall be constructed to represent adequately the configuration of the finished winding component to be evaluated, and shall be subjected to the full normal or intended manufacturing processes as far as possible. If the mechanical attachment of the insulation during service, that is the way of fixing the coil sides or bars in the slots, or overhang support structure, is considered to influence the ageing processes, it should be simulated in the test objects.

When using separate coils or bars as models, creepage distances and voltage grading means, where required, are to be appropriate to the stresses applied during testing. An electrode should extend the full slot length of the model and encircle the entire circumference of the coil cross-section. The details given in IEC 727-1 should be observed.

4.1.2 Considerations on turns and strands in test objects

Where turn insulation is diagnostically tested, it is generally necessary to use complete coils in order to include possible effects of shaping and conductor reinforcement.

Where an impulse voltage diagnostic test is applied, the number of turns in the coil should be the smallest appropriate for the insulation system, in order to have the highest stress over the turn-to-turn insulation.

Where it is required to apply a power-frequency voltage between the turns, then the coil preferably should be wound with two parallel conductors (bifilar), or the coil has to be cut in the endwindings. When using vacuum pressure impregnation (VPI) coils, the cut-through and separation of the conductors in that area shall be made before impregnation.

4.2 Number of test specimens

An adequate number of test specimens should be aged at each of the combinations of ageing temperatures and voltages that are being used, to obtain a statistical confidence. This number shall not be less than five.

NOTE – If bars or half-coils are used, the minimum number is five bars or half-coils. If full coils are used, the minimum number is five full coils.

4.3 Quality assurance tests

Before starting the first ageing sub-cycle, the following quality assurance tests shall be performed:

- a) visual inspection of the test specimens;
- b) voltage tests, according to IEC 34-1.

4.4 Essais préliminaires de diagnostic

Avant le début du premier sous-cycle de vieillissement thermique, chaque éprouvette terminée doit être soumise à tous les essais de diagnostic prévus dans la procédure d'essai.

5 Sous-cycle de vieillissement

5.1 Niveaux des contraintes de vieillissement

En fonction de la présence et du type d'interaction, différentes procédures d'essai sont nécessaires.

Lors du choix des niveaux de contrainte électrique et thermique pour les sous-cycles de vieillissement, il est important que le mécanisme de vieillissement, pendant ces sous-cycles, ne soit pas sensiblement différent de celui rencontré en service normal. En conséquence, il convient que le principe d'accélération égales, recommandé dans la CEI 792-1, soit appliqué si possible.

5.1.1 Facteurs d'accélération

Il convient que les facteurs d'accélération soient proportionnés aux niveaux des facteurs de vieillissement:

- a) vieillissement électrique à la tension maximale par rapport à la terre U_M du système d'isolation;
- b) vieillissement thermique à la température de service maximale T_M .

Sélection de U_M : il est recommandé d'avoir l'équation suivante:

$$U_M = 1,2 \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} \approx 0,7 \cdot U_N$$

étant donné que l'utilisation continue au-dessus de la tension assignée maximale U_N est généralement restreinte, et pour permettre une marge en fonction des temps très variables généralement observés avant la défaillance.

Sélection de T_M : pour les machines qui sont produites en grande quantité et lorsque les températures individuelles effectives ne sont pas connues, la valeur

$$T_M = TC - 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

est recommandée. Dans cette formule, TC est la température de classe définie dans la CEI 34-18-1. Cette valeur (T_M) est très proche de la limite supérieure de 95 % de la distribution de température de fonctionnement réelle.

Pour les grosses machines fabriquées individuellement, avec des températures de fonctionnement connues, il est recommandé d'utiliser soit la température en service connue, soit la température de classe TC .

4.4 Initial diagnostic tests

Each completed test object shall be subjected to all the diagnostic tests selected for the test procedure before starting the first ageing sub-cycle.

5 Ageing sub-cycle

5.1 Ageing stress levels

Different test procedures are necessary, depending on the presence and type of interaction.

In the selection of the electrical and thermal stress levels for the ageing sub-cycles, it is important that the mechanism of ageing during these sub-cycles is not significantly different from that in normal service. Therefore, the principle of equal accelerations, as recommended in IEC 792-1, should be applied, if possible.

5.1.1 Acceleration factors

The acceleration factors should be related to the reference ageing factor levels:

- a) electrical ageing at the maximum voltage to earth U_M for the insulation system; and
- b) thermal ageing at the maximum service temperature T_M .

Selection of U_M : it is recommended that

$$U_M = 1,2 \cdot \frac{U_N}{\sqrt{3}} \approx 0,7 \cdot U_N$$

since the continuous use above the maximum rated voltage U_N is usually restricted, and to allow a margin for the high scatter in times to failure usually observed.

Selection of T_M : for machines which are produced in large quantities, and where individual actual temperatures are not known, the value

$$T_M = TC - 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

is recommended, where TC is the class temperature as defined in IEC 34-18-1. This value (T_M) is not far from the 95 % upper limit of the actual operating temperature distribution.

For large machines manufactured individually for operating temperatures known reliably, either the known operating temperature or the class temperature TC should be used.

5.1.2 Interaction inconnue

Dans les cas où l'interaction n'est pas connue, elle doit être détectée avant de continuer à travailler sur les procédures d'essai. Une méthode permettant de trouver l'existence et de définir la qualité de cette interaction est donnée en A.3 et A.4 de l'annexe A.

5.1.3 Interaction absente ou insignifiante

Dans le cas où il n'y a pas, ou peu d'interactions entre les contraintes thermiques et électriques, on peut espérer obtenir le principe d'accélération égales en sélectionnant des combinaisons de vieillissement dans lesquelles les facteurs d'accélération pour les contraintes thermiques et électriques, lorsqu'elles sont appliquées seules, sont identiques.

5.1.3.1 Un ou deux facteurs d'accélération à facteur unique connus

Si les contraintes électriques ou les températures de vieillissement correspondant aux facteurs d'accélération sélectionnés sont connues à partir d'essais précédents réalisés avec un facteur unique, ces valeurs de contraintes doivent être alors utilisées.

5.1.3.2 Facteurs d'accélération à facteur unique inconnus

Si les facteurs d'accélération, dans les essais de vieillissement électrique et thermique à facteur unique, sont inconnus, il convient que les contraintes pour les essais soient choisies dans le tableau 2.

Tableau 2 – Sélection des niveaux de contrainte, lorsque les accélérations à facteur unique sont inconnues

Facteur d'accélération	Contrainte électrique (fréquence industrielle)	Température de vieillissement
8	$1,40 U_M$	$T_M + 30\text{ °C}$
16	$1,60 U_M$	$T_M + 40\text{ °C}$
32	$1,80 U_M$	$T_M + 50\text{ °C}$
64	$2,00 U_M$	$T_M + 60\text{ °C}$
128	$2,25 U_M$	$T_M + 70\text{ °C}$
256	$2,50 U_M$	$T_M + 80\text{ °C}$

Dans le choix des températures de vieillissement figurant dans ce tableau, il a été supposé que le mécanisme de vieillissement thermique est identique dans toute la gamme des températures d'essai, et que la loi d'Arrhenius (avec un intervalle de 10 K Halving) est suivie avec une précision raisonnable. Comme pour les essais de vieillissement thermique à facteur unique, il existe la possibilité que des changements radicaux surviennent dans le mécanisme de vieillissement, aux températures les plus élevées. De tels changements dans les mécanismes de vieillissement peuvent conduire à des résultats très erronés, mais ces derniers doivent être mentionnés dans le compte rendu.

Le vieillissement électrique est supposé suivre la formule exponentielle connue dans la gamme des tensions d'essais.

NOTE – Les valeurs du tableau 2 ne sont données qu'à titre d'exemple.

5.1.2 Interaction unknown

In cases where interaction is unknown, it has to be detected before further working on the test procedures. A method for finding the existence and quality of interaction is indicated in A.3 and A.4 of annex A.

5.1.3 Interaction absent or insignificant

In the case where no, or only limited, interaction exists between the thermal and electrical stresses, the principle of equal accelerations can be expected to be obtained by selecting ageing combinations in which the acceleration factors for the thermal and electrical stresses are the same when used alone.

5.1.3.1 One or both single-factor acceleration factors known

If the electrical stresses or the ageing temperatures corresponding to the selected acceleration factors are known from previous single-factor tests, then those stress values shall be used

5.1.3.2 Single-factor acceleration factors not known

If the acceleration factors in electrical and thermal single-factor ageing tests are not known, the stresses for the tests should be selected from table 2.

Table 2 – Selection of stress levels, when the single-factor accelerations are unknown

Assumed single-stress acceleration factor	Electrical stress (power frequency)	Ageing temperature
8	1,40 U_M	$T_M + 30\text{ °C}$
16	1,60 U_M	$T_M + 40\text{ °C}$
32	1,80 U_M	$T_M + 50\text{ °C}$
64	2,00 U_M	$T_M + 60\text{ °C}$
128	2,25 U_M	$T_M + 70\text{ °C}$
256	2,50 U_M	$T_M + 80\text{ °C}$

In the selection of the ageing temperatures in this table, it has been assumed that the thermal ageing mechanism is the same within the entire test temperature range, and that it follows Arrhenius's law (with 10 K Halving Interval) with reasonable accuracy. As with single-factor thermal ageing tests, there is the possibility that radical changes in the ageing mechanism will occur at the highest ageing temperatures. Such changes of ageing mechanisms can lead to very erroneous results, but they shall be reported.

The electrical ageing is assumed to follow the known exponent formula within the test voltage range.

NOTE – The values in table 2 are given as guiding data only.

5.1.4 *Existence d'une interaction*

Une interaction peut être détectée, comme indiqué en A.3 et A.4 de l'annexe A. Si l'on sait qu'une interaction va survenir, il peut se révéler nécessaire de modifier les combinaisons de contraintes. Les modifications à apporter dépendront de la relation entre l'effet de la contrainte thermique sur le vieillissement électrique, et l'effet de la contrainte électrique sur le vieillissement thermique.

5.1.4.1 *Accélération similaire du vieillissement thermique et électrique*

Si l'interaction se traduit par des accélérations similaires du vieillissement électrique et thermique, c'est 5.1.3.1, avec ou sans modifications selon le tableau 2, qui doit être utilisé.

En général, si l'interaction se traduit par un accroissement du vieillissement, des facteurs d'accélération relativement faibles seront choisis. A l'inverse, si l'interaction a pour résultat un vieillissement réduit, il convient de choisir des facteurs d'accélération élevés.

5.1.4.2 *Vieillissement électrique plus accéléré que le vieillissement thermique*

Si l'interaction a pour résultat une accélération du vieillissement électrique plus importante que le vieillissement thermique en se basant sur 5.1.3.1, avec ou sans modifications selon le tableau 2, il conviendra d'utiliser, pour chaque combinaison de contraintes, une contrainte électrique avec un facteur d'accélération qui sera la moitié de celui utilisé pour la contrainte thermique.

NOTE – Cette situation est décrite en A.4, cas II, III et IV.

5.1.4.3 *Vieillissement thermique plus accéléré que le vieillissement électrique*

Si l'interaction a pour résultat une accélération du vieillissement thermique plus importante que le vieillissement électrique en se basant sur 5.1.3.1, avec ou sans modifications selon le tableau 2, on doit utiliser, pour chaque combinaison de contraintes, une contrainte thermique avec un facteur d'accélération qui soit la moitié de celui utilisé pour la contrainte électrique.

NOTE – Cette situation est décrite en A.4, cas I, IV et VI.

5.2 *Durée et nombre des sous-cycles de vieillissement*

Il convient de choisir chaque combinaison de contraintes de façon que le temps moyen avant défaillance (dans le cas de la procédure 2: pour chaque partie du sous-cycle) ne soit pas inférieur à 20 jours. La combinaison de contraintes la plus faible devra conduire à un temps moyen avant défaillance de l'ordre de 300 jours.

La durée de chaque sous-cycle sera choisie de façon qu'environ dix sous-cycles soient effectués avant la défaillance moyenne dans le groupe d'échantillons.

En conséquence, il convient que cette durée ne soit pas inférieure à 2 jours ni supérieure à 30 jours (dans le cas de la procédure 2: pour chaque partie du sous-cycle).

Un nombre suffisant de sous-cycles est particulièrement important lorsque les contraintes de vieillissement sont appliquées séquentiellement (procédure 2), pour permettre aux interactions indirectes éventuelles d'agir comme elles le feraient en service normal. En conséquence, dans ce cas, le nombre de sous-cycles sera de dix ou plus.

5.1.4 *Interaction is known to occur*

Interaction can be detected as indicated in A.3 and A.4 of annex A. If interaction is known to occur, the stress combinations may have to be modified. The modifications to be made will depend upon the relation between the effect by the thermal stress on the electrical ageing, and the effect by the electrical stress on the thermal ageing.

5.1.4.1 *Similar acceleration of thermal and electrical ageing*

If the interaction results in similar accelerations of the electrical and thermal ageing, then 5.1.3.1, either with or without the modifications according to table 2, shall be used.

In general, if the interaction results in increased ageing, relatively low acceleration factors should be chosen. Conversely, if the interaction results in reduced ageing, relatively high acceleration factors should be chosen.

5.1.4.2 *Electrical ageing more accelerated than thermal ageing*

If the interaction results in a higher acceleration of the electrical ageing than the thermal ageing if 5.1.3.1 is used, either with or without the modifications according to table 2, then for each stress combination, an electrical stress with an acceleration factor that is half of the one used for the thermal stress shall be used.

NOTE - This situation is described in A.4, cases II, III and IV.

5.1.4.3 *Thermal ageing more accelerated than electrical ageing*

If the interaction results in a higher acceleration of the thermal ageing than the electrical ageing if 5.1.3.1 is used, either with or without the modifications according to table 2, then for each stress combination, a thermal stress with an acceleration factor that is half of the one used for the electrical stress shall be used.

NOTE - This situation is described in A.4, cases I, IV, and VI.

5.2 *Duration and number of ageing sub-cycles*

Each stress combination should be chosen so that the median time to failure (in case of procedure 2 for each section of the sub-cycle) is not less than 20 days. The lowest stress combination should produce the median time to failure in the order of 300 days.

The duration of each sub-cycle should be selected so that about 10 sub-cycles will pass before the median failure in the group of specimens.

Consequently, this duration should not be less than 2 days nor more than 30 days (in case of procedure 2 for each section of the sub-cycle).

A sufficient number of sub-cycles is particularly important when the ageing stresses are applied sequentially (procedure 2), to allow the possible indirect interactions to act as they do in actual service. Therefore, in this case the number of sub-cycles should be 10 or more.

5.3 *Procédure 1: sous-cycle de vieillissement avec contraintes de vieillissement appliquées simultanément*

5.3.1 *Généralités*

Les facteurs de vieillissement sont appliqués simultanément.

Les principes généraux de l'article 3 seront suivis.

Autant que possible, le principe d'une accélération égale sera appliqué (voir 5.1).

5.3.2 *Nombre de niveaux de contraintes*

Il convient de choisir au moins trois conditions de vieillissement, conformément à 5.1.

5.4 *Procédure 2: sous-cycle de vieillissement avec contraintes thermiques et électriques appliquées séquentiellement*

5.4.1 *Généralités*

Des indications générales sur l'applicabilité de cette procédure sont données en 3.5. Un sous-cycle de vieillissement comprend deux parties. Pendant la première partie, les éprouvettes sont soumises à la température de vieillissement thermique sélectionnée, alors que la contrainte électrique n'est pas appliquée. Pendant la deuxième partie du sous-cycle, les éprouvettes ne sont pas chauffées (autrement que par les pertes diélectriques), pendant qu'elles sont soumises à la contrainte de vieillissement électrique sélectionnée.

Les températures effectives les plus élevées des échantillons, pendant la période du vieillissement électrique, devront être mentionnées dans le compte rendu. Pour les techniques de mesure, voir 3.6.3.

Les principes généraux de l'article 3 seront suivis.

Autant que possible, le principe des accélérations égales sera appliqué (voir 5.1).

5.4.2 *Nombre et sélection des niveaux de contraintes*

Il convient de sélectionner au moins trois conditions de vieillissement conformément à 5.1.

Dans cette procédure, les niveaux de contraintes choisis peuvent s'étendre plus librement jusqu'à des contraintes plus élevées que dans la procédure 1.

5.5 *Procédure 3: sous-cycle de vieillissement lorsqu'une procédure à point unique est applicable*

Un essai à point unique est autorisé, conformément à 5.3.2.2 de la CEI 34-18-1, s'il y a des modifications mineures dans le système d'isolation. La procédure qui suit peut ensuite être utilisée.

Une combinaison appropriée de niveaux de contraintes de vieillissement est choisie, conformément à 5.1.

Les deux contraintes de vieillissement peuvent être appliquées soit simultanément, comme dans la procédure 1, soit séquentiellement, comme dans la procédure 2, si une interaction est absente ou insignifiante (voir 5.1.3.).

5.3 *Procedure 1: ageing sub-cycle with ageing stresses applied simultaneously*

5.3.1 *General*

The ageing factors are applied simultaneously.

The general principles, according to clause 3, are to be followed.

As far as is practical, the principle of equal acceleration should be applied (see 5.1).

5.3.2 *Number of stress levels*

At least three ageing conditions should be selected, according to the guidelines in 5.1.

5.4 *Procedure 2: ageing sub-cycle with sequentially applied thermal and electrical stresses*

5.4.1 *General*

Guidance on the applicability of this procedure is given in 3.5. An ageing sub-cycle consists of two sections. During the first section, the test objects are subjected to the selected thermal ageing temperature, while the electrical stress is not applied. During the second section of the ageing sub-cycle, test objects are not heated (otherwise than by the dielectric losses) while subjected to the selected electrical ageing stress.

The actual highest temperatures of the test specimens during the electrical ageing period should be recorded and reported. For the measuring techniques, see 3.6.3.

The general principles, according to clause 3, are to be followed.

As far as is practical, the principle of equal accelerations should be applied (see 5.1).

5.4.2 *Number and selection of stress levels*

At least three ageing conditions should be selected, according to the guidelines in 5.1.

In this procedure, the stress levels selected may range more freely up to higher stresses than in procedure 1.

5.5 *Procedure 3: ageing sub-cycle when single-point procedure is applicable*

A single-point test is permitted, similar to 5.3.2.2 of IEC 34-18-1, if there are minor changes in the insulation system. Then the following procedure may be used.

One appropriate combination of ageing stress levels is selected according to 5.1.

The two ageing stresses may be applied either simultaneously as in procedure 1, or sequentially as in procedure 2, if direct interaction is absent or insignificant (see 5.1.3).

Il convient de suivre les principes généraux donnés dans l'article 3. Pour cette procédure, il est essentiel que le système de référence et le système candidat soient testés ensemble en utilisant exactement la même procédure d'essai, dans le même laboratoire, et en employant les mêmes équipements d'essai.

6 Sous-cycle de diagnostic

Après chaque sous-cycle de vieillissement, chaque échantillon doit être soumis à une série d'essais de diagnostic qui peut comporter tout ou partie des essais suivants: mécanique, humidité, tension et autres essais de diagnostic, comme décrit dans cet article, appliqués dans cet ordre. Les essais de diagnostic utilisés doivent être mentionnés dans le compte rendu.

6.1 Essais mécaniques

Les essais mécaniques seront réalisés à température ambiante et sans tension appliquée.

6.1.1 Essai général mécanique

La contrainte mécanique appliquée doit être de même nature que celle qui existe en service et d'une sévérité correspondant aux plus fortes contraintes attendues en service normal. La procédure d'application de cette contrainte peut varier avec le type d'éprouvette et le mode de fonctionnement.

6.1.2 Essai par table vibrante

L'essai est réalisé conformément à 5.5.1, section 1. Les échantillons seront montés de façon telle que le mouvement s'exerce perpendiculairement au plan des bobines.

La vibration aura une amplitude recommandée de 0,2 mm ou 0,3 mm crête à crête, respectivement pour une fréquence d'essai de 60 Hz ou 50 Hz. Cette amplitude correspond à une accélération approximative de 1,5 g (15 m/s²). Si l'on emploie une autre amplitude, on doit le mentionner et le justifier dans le compte rendu.

6.1.3 Essai spécial mécanique

Le compte rendu doit mentionner les motifs de l'emploi d'un essai mécanique spécial ainsi que les détails de l'essai.

6.1.4 Absence d'essai mécanique

Aucun essai mécanique n'est réalisé dans le cadre du sous-cycle de diagnostic. On doit mentionner les motifs de cette absence dans le compte rendu.

6.2 Essais d'humidité

6.2.1 Essai général d'humidité

Chaque éprouvette doit être exposée pendant au moins 48 h dans une atmosphère produisant un dépôt visible d'humidité sur l'enroulement. Il convient que les éprouvettes soient approximativement à température ambiante, entre 15 °C et 35 °C. La température réelle de l'éprouvette doit être mentionnée dans le compte rendu. Pendant cette période, aucune tension n'est appliquée aux échantillons.

The general principles given in clause 3 should be followed. For this procedure, it is essential that the reference system and the candidate system should be tested together, using exactly the same test procedure, in the same laboratory, and using the same test equipment.

6 Diagnostic sub-cycle

Following each ageing sub-cycle, each specimen shall be subjected to a series of diagnostic tests which may include some or all of the following: mechanical, moisture, voltage, and other diagnostic tests as described in this clause, usually applied in the order given. The diagnostic test used shall be reported.

6.1 Mechanical tests

The mechanical tests should be made at room temperature and without applied voltage.

6.1.1 General mechanical test

The applied mechanical stress shall 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 can vary with each type of test object, and manner of service.

6.1.2 Shake-table test

The test is performed according to 5.5.1, section 1. The test specimens should be mounted so that the motion occurs at right angles to the plane of the coils.

The preferred amplitude of the vibration is 0,2 mm or 0,3 mm peak to peak, at a test frequency of 60 Hz or 50 Hz, respectively. This amplitude corresponds to an acceleration of approximately 1,5 g (15 m/s²). If another amplitude is used, it shall be reported, as well as the justification of its use.

6.1.3 Special mechanical test

The arguments for using a special mechanical test, and details of the test shall be reported.

6.1.4 No mechanical test

No mechanical test is performed within the diagnostic sub-cycle. The arguments justifying this shall be reported.

6.2 Moisture tests

6.2.1 General moisture test

Each test object shall be exposed for at least 48 h to an atmosphere producing visible moisture deposition on the winding. The test objects should be at approximately room temperature, in the 15 °C-35 °C range. The actual test temperature shall be reported. During this period, voltage is not applied to the test specimens.

Un dépôt visible et continu d'humidité peut être obtenu, par exemple, au moyen d'une chambre à brouillard ou d'une chambre à condensation.

6.2.2 Essai d'humidité avec immersion dans l'eau

Cet essai peut convenir pour l'évaluation des systèmes étanches. L'échantillon complet, y compris les connexions, doit être immergé pendant 30 min dans de l'eau de ville contenant un agent mouillant non ionique suffisamment concentré pour réduire la tension superficielle à une valeur de 3,1 mN/m (31 dyn/cm) ou moins, à 25 °C.

A la fin de la période d'immersion, alors que les éprouvettes sont encore immergées, on doit leur appliquer une tension comme spécifié en 6.3.2. Les mesures de la résistance d'isolement peuvent être utilisées comme essai complémentaire pour détecter des fuites, si nécessaire.

Après l'essai de tension, les éprouvettes doivent être rincées une ou plusieurs fois dans de l'eau de ville. On doit laisser les éléments sécher, de préférence durant une nuit, avant de recommencer le sous-cycle de vieillissement et de poursuivre l'essai.

6.2.3 Essais spéciaux d'humidité

On doit mentionner les motifs de l'emploi d'un essai spécial et les détails de l'essai dans le compte rendu.

6.2.4 Absence d'humidité

Aucun essai d'humidité n'est réalisé dans le cadre du sous-cycle de diagnostic. On doit mentionner les motifs de cette absence dans le compte rendu.

6.3 Essais de tension

Afin de vérifier l'état des échantillons et de déterminer la fin de la durée de vie en essai, on peut appliquer une tension d'essai.

La procédure de cet essai de tension, et les signes de défaillance, sont donnés dans la CEI 34-18-1 en 5.5.3.

6.3.1 Essais généraux de tension

La tension doit être appliquée entre spires et entre bobine et masse, habituellement dans cet ordre. De plus elle peut, au besoin, être appliquée entre bobines.

Lorsqu'on utilise un essai d'humidité, une tension d'essai à fréquence industrielle doit être appliquée pendant 10 min alors que les échantillons sont encore humides, à une température voisine de la température ambiante.

En l'absence d'essai d'humidité, la tension d'essai doit être appliquée pendant 1 min.

Il convient que la valeur de la tension à fréquence industrielle au cours des essais entre bobine et masse, ou entre bobines, soit $2 \times U_N$ ou 1 000 V, la valeur la plus élevée des deux étant retenue. U_N est défini comme la tension assignée maximale du système d'isolation en essai.

Visible and continuous moisture deposition may be achieved by, for example, a fog chamber or condensation chamber.

6.2.2 *Moisture test with water immersion*

This test may be appropriate for evaluating sealed systems. The complete test object, including the joint connections, shall be immersed for a period of 30 min in tap water which contains a non-ionic wetting agent in a concentration sufficient to reduce the surface tension to a value of 3,1 mN/m (31 dyn/cm), or less, at 25 °C.

At the end of the immersion time, while the test objects are still immersed, a voltage shall be applied to the test specimens as specified in 6.3.2. Insulation resistance measurements may be used as an additional test to indicate leakage if so desired.

Following the voltage test, the test objects shall be given one or more rinses in normal tap water. The units shall be allowed to dry, preferably overnight, prior to repeating the ageing sub-cycle and continuing the test.

6.2.3 *Special moisture tests*

The arguments for using a special test and details of the test shall be reported.

6.2.4 *No moisture test*

No moisture test is performed as section of the diagnostic sub-cycle. The arguments justifying this shall be reported.

6.3 *Voltage tests*

In order to check the condition of the test specimens and determine when the end of test life has been reached, a test voltage may be applied.

The procedure for the voltage test and the indicators of failure are presented in 5.5.3, IEC 34-18-1.

6.3.1 *General voltage tests*

The voltage shall be applied from turn to turn and from coil to frame, usually in that order. In addition, it may be applied from coil to coil, when appropriate.

When a moisture test is used, a power-frequency test voltage is to be applied for 10 min while the test specimens are still wet from exposure, at approximately room temperature.

When no moisture test is used, a voltage test is applied for a period of 1 min.

The value of the power frequency test voltage in the tests from coil to frame, or coil to coil should be $2 \times U_N$ or 1 000 V, whichever is higher. U_N is defined as the maximum rated voltage of the insulation system under test.

On recommande l'emploi d'un dispositif de surintensité, réglé pour fonctionner à un minimum de cinq fois le courant de charge normal.

Pour un essai entre spires, il convient de choisir une tension en rapport avec la construction de l'enroulement et les conditions de fonctionnement selon la CEI 34-15.

6.3.2 *Essai de tension sur des échantillons immergés*

La tension d'essai à fréquence industrielle de $1,15 \times U_N$ est appliquée entre bobine et masse pendant 1 in. Pendant cet essai, l'eau doit être au potentiel de la masse.

6.3.3 *Essais spéciaux de tension*

Les motifs de l'emploi d'essais spéciaux de tension et les détails de l'essai, y compris les valeurs des tensions d'essai, doivent être mentionnés dans le compte rendu.

6.3.4 *Absence d'essai de tension*

Si aucun essai de tension n'est réalisé, un autre essai de diagnostic, conformément à 6.4.2, doit être effectué. Les motifs de l'absence d'essais de tension devront être mentionnés dans le compte rendu.

6.4 *Autres essais de diagnostic*

Selon le cas, d'autres essais de diagnostic peuvent être réalisés. Voir la CEI 34-18-1, 5.5.4.

6.4.1 *Essais informatifs de diagnostic*

Les essais de diagnostic consistent en des mesures non destructives de la qualité de l'isolation. Ils sont réalisés au cours d'autres essais sur tout ou partie des échantillons. Le suivi des variations des propriétés mesurées permet de découvrir de nombreuses informations dans le processus de vieillissement de l'isolation.

6.4.2 *Essais de diagnostic pour la détermination du point de fin de vie*

Toute variation de valeur caractéristique ou de mesure quantitative peut être utilisée comme détermination additionnelle ou exclusive du point de fin de vie, à condition d'être en corrélation avec la fin de vie déterminée par les essais de tension ou par des défaillances en service.

Les motifs de l'emploi d'un tel critère, les corrélations établies et les détails de l'essai, y compris les valeurs d'essai, doivent être mentionnés dans le compte rendu.

6.4.3 *Absence d'autre essai de diagnostic*

Aucun autre essai de diagnostic n'est effectué.

It is recommended that an overcurrent device be used and set to trip at a minimum of five times normal charging current.

For a turn-to-turn test, an appropriate voltage for the winding design and operating conditions should be selected, according to IEC 34-15.

6.3.2 *Voltage test of immersed test specimens*

The power frequency test voltage of $1,15 \times U_N$ is applied from coil to frame for 1 min. The water shall be at frame potential during the test.

6.3.3 *Special voltage tests*

The arguments for using special voltage tests, and details of the tests, including values of the test voltages used, shall be reported.

6.3.4 *No voltage test*

If no voltage test is applied, another diagnostic test, according to 6.4.2, shall be applied. The arguments for not making voltage tests shall be reported.

6.4 *Other diagnostic tests*

When appropriate, other diagnostic tests may be performed. See IEC 34-18-1, 5.5.4.

6.4.1 *Informative diagnostic tests*

These diagnostic tests are non-destructive measurements of insulation quality. They are performed during the course of other tests on some or all test specimens. By noting changes in the properties measured, much can be learned about the ageing process of the insulation.

6.4.2 *Diagnostic tests used for end-point determination*

If a change in a property value or in a measured quantity can be correlated with the end of life determined by the voltage tests or failures in service, then it may be used for an additional or exclusive determination of the end-point.

The arguments for using such a criterion, correlations established, and details of the test, including test magnitudes, shall be reported.

6.4.3 *No other diagnostic tests*

No other diagnostic test is performed.

7 Analyse des données, compte rendu et évaluation

7.1 Analyse des données

Pour chaque combinaison de contraintes de vieillissement choisie, le temps moyen, la moyenne logarithmique ou autre durée jusqu'à défaillance caractéristique devra être déterminé, ainsi que les limites de confiance adéquates. Les raisons du choix de la méthode de présentation des données seront mentionnées dans le compte rendu.

Les résultats peuvent être visualisés au moyen d'un graphique donnant le logarithme de la durée de vie par rapport au logarithme du facteur d'accélération à facteur unique. Si le facteur d'accélération est différent pour le vieillissement électrique et le vieillissement thermique, suite aux modifications décrites en 5.1.4.2 ou 5.1.4.3, l'un ou l'autre pourra être utilisé, mais celui qui est utilisé doit être mentionné dans le compte rendu.

7.2 Compte rendu

Il convient de suivre 5.6 et 6.4 relatifs au compte rendu, dans la CEI 34-18-1, de manière appropriée.

7.3 Evaluation

Les caractéristiques assignées prévues pour le système candidat peuvent être acceptées, si ses performances sont supérieures ou égales à celles du système de référence, en comparant les graphiques des deux systèmes, tel que cela est décrit en 7.1.

A l'heure actuelle, aucune extrapolation n'est jugée fiable.