

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Rotating electrical machines –**

**Part 18-21: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for wire-wound windings – Thermal evaluation and classification**

**Machines électriques tournantes –**

**Partie 18-21: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements à fils – Evaluation thermique et classification**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office  
3, rue de Varembé  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

### About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

#### Useful links:

IEC publications search - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available on-line and also once a month by email.

Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

### A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

### A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

#### Liens utiles:

Recherche de publications CEI - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).



IEC 60034-18-21

Edition 2.0 2012-09

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Rotating electrical machines –**

**Part 18-21: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for wire-wound windings – Thermal evaluation and classification**

**Machines électriques tournantes –**

**Partie 18-21: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements à fils – Evaluation thermique et classification**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX



ICS 29.160

ISBN 978-2-83220-337-8

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.  
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

## CONTENTS

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                              | 6  |
| INTRODUCTION.....                                                                                          | 8  |
| 1 Scope.....                                                                                               | 9  |
| 2 Normative references .....                                                                               | 9  |
| 3 General considerations.....                                                                              | 9  |
| 3.1 Reference insulation system.....                                                                       | 9  |
| 3.2 Test procedures .....                                                                                  | 10 |
| 4 Test objects and test specimens.....                                                                     | 10 |
| 4.1 Construction of test objects .....                                                                     | 10 |
| 4.2 Verification of effects of minor changes in insulation systems.....                                    | 11 |
| 4.3 Number of test specimens .....                                                                         | 11 |
| 4.4 Quality control.....                                                                                   | 11 |
| 4.5 Initial diagnostic tests.....                                                                          | 11 |
| 5 Test procedures .....                                                                                    | 12 |
| 5.1 General principles of diagnostic tests .....                                                           | 12 |
| 5.2 Ageing temperatures and sub-cycle lengths .....                                                        | 12 |
| 5.3 Methods of heating.....                                                                                | 13 |
| 5.4 Thermal ageing sub-cycle.....                                                                          | 14 |
| 6 Diagnostic sub-cycle.....                                                                                | 14 |
| 6.1 Conditioning sequence .....                                                                            | 14 |
| 6.2 Mechanical conditioning .....                                                                          | 14 |
| 6.3 Moisture conditioning .....                                                                            | 15 |
| 6.4 Voltage tests .....                                                                                    | 15 |
| 6.5 Other diagnostic tests.....                                                                            | 15 |
| 7 Reporting and functional evaluation of data from candidate and reference systems.....                    | 16 |
| 7.1 General.....                                                                                           | 16 |
| 7.2 Determining qualification .....                                                                        | 16 |
| 7.2.1 Overview .....                                                                                       | 16 |
| 7.2.2 Case A: Qualification for the same class temperature and same<br>expected service life .....         | 17 |
| 7.2.3 Case B: Qualification for the same class temperature and a different<br>expected service life .....  | 17 |
| 7.2.4 Case C: Qualification for a different class temperature and same<br>expected service life .....      | 18 |
| 7.2.5 Case D: Qualification for a different class temperature and different<br>expected service life ..... | 19 |
| 7.2.6 Non-linearity of regression lines .....                                                              | 20 |
| 7.2.7 Reduced evaluation .....                                                                             | 20 |
| 8 Procedure 1: Motorette test procedure.....                                                               | 21 |
| 8.1 General.....                                                                                           | 21 |
| 8.1.1 Test object definition .....                                                                         | 21 |
| 8.1.2 Test procedure .....                                                                                 | 21 |
| 8.2 Test objects.....                                                                                      | 21 |
| 8.2.1 Construction of test objects .....                                                                   | 21 |
| 8.2.2 Number of test objects.....                                                                          | 21 |
| 8.2.3 Quality assurance tests .....                                                                        | 21 |

|        |                                                               |    |
|--------|---------------------------------------------------------------|----|
| 8.2.4  | Initial diagnostic tests .....                                | 22 |
| 8.3    | Thermal ageing sub-cycle.....                                 | 22 |
| 8.3.1  | Ageing temperatures and sub-cycle lengths.....                | 22 |
| 8.3.2  | Means of heating .....                                        | 22 |
| 8.3.3  | Ageing procedure .....                                        | 22 |
| 8.4    | Diagnostic sub-cycle .....                                    | 22 |
| 8.4.1  | General .....                                                 | 22 |
| 8.4.2  | Mechanical conditioning .....                                 | 22 |
| 8.4.3  | Moisture conditioning.....                                    | 22 |
| 8.4.4  | Voltage test .....                                            | 22 |
| 8.4.5  | Other diagnostic tests.....                                   | 23 |
| 8.5    | Analyzing, reporting and classification.....                  | 23 |
| 9      | Procedure 2: Motor test procedure .....                       | 23 |
| 9.1    | General .....                                                 | 23 |
| 9.1.1  | Test object definition .....                                  | 23 |
| 9.1.2  | Test procedure .....                                          | 23 |
| 9.2    | Test objects.....                                             | 24 |
| 9.2.1  | Construction of test objects .....                            | 24 |
| 9.2.2  | Number of test objects.....                                   | 24 |
| 9.2.3  | Quality assurance tests .....                                 | 24 |
| 9.2.4  | Initial diagnostic tests .....                                | 24 |
| 9.3    | Thermal ageing sub-cycle.....                                 | 24 |
| 9.3.1  | Ageing temperatures and sub-cycle lengths.....                | 24 |
| 9.3.2  | Means of heating .....                                        | 24 |
| 9.3.3  | Ageing procedure .....                                        | 25 |
| 9.3.4  | Mechanical stresses during the thermal ageing sub-cycle.....  | 25 |
| 9.4    | Diagnostic sub-cycle .....                                    | 25 |
| 9.4.1  | Mechanical conditioning .....                                 | 25 |
| 9.4.2  | Moisture conditioning.....                                    | 26 |
| 9.4.3  | Voltage withstand test .....                                  | 26 |
| 9.4.4  | Other diagnostic tests.....                                   | 26 |
| 9.5    | Analyzing, reporting and classification.....                  | 27 |
| 10     | Procedure 3: Test procedure for stator windings in slots..... | 27 |
| 10.1   | General .....                                                 | 27 |
| 10.1.1 | Test object definition .....                                  | 27 |
| 10.1.2 | Test procedures .....                                         | 27 |
| 10.2   | Test objects.....                                             | 27 |
| 10.2.1 | Construction of test objects .....                            | 27 |
| 10.2.2 | Number of test specimens .....                                | 27 |
| 10.2.3 | Quality assurance tests .....                                 | 27 |
| 10.2.4 | Initial diagnostic tests .....                                | 27 |
| 10.3   | Thermal ageing sub-cycle.....                                 | 27 |
| 10.3.1 | Ageing temperatures and sub-cycle lengths.....                | 27 |
| 10.3.2 | Means of heating .....                                        | 28 |
| 10.3.3 | Ageing procedure .....                                        | 28 |
| 10.4   | Diagnostic sub-cycle .....                                    | 28 |
| 10.4.1 | Mechanical conditioning .....                                 | 28 |
| 10.4.2 | Moisture conditioning.....                                    | 28 |
| 10.4.3 | Voltage withstand test .....                                  | 28 |

|                       |                                                               |    |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------|----|
| 10.4.4                | Other diagnostic tests .....                                  | 28 |
| 10.5                  | Analyzing, reporting and classification .....                 | 28 |
| 11                    | Procedure 4: Test procedure for pole windings .....           | 29 |
| 11.1                  | General .....                                                 | 29 |
| 11.1.1                | Test object definition .....                                  | 29 |
| 11.1.2                | Test procedures .....                                         | 29 |
| 11.2                  | Test objects .....                                            | 29 |
| 11.2.1                | Construction of test objects .....                            | 29 |
| 11.2.2                | Number of test objects .....                                  | 29 |
| 11.2.3                | Quality assurance tests .....                                 | 29 |
| 11.2.4                | Initial diagnostic tests .....                                | 29 |
| 11.3                  | Thermal ageing sub-cycle .....                                | 29 |
| 11.3.1                | Ageing temperatures and sub-cycle lengths .....               | 29 |
| 11.3.2                | Means of heating .....                                        | 29 |
| 11.3.3                | Ageing procedure .....                                        | 30 |
| 11.4                  | Diagnostic sub-cycle .....                                    | 30 |
| 11.4.1                | Mechanical conditioning .....                                 | 30 |
| 11.4.2                | Moisture conditioning .....                                   | 30 |
| 11.4.3                | Voltage withstand test .....                                  | 30 |
| 11.4.4                | Other diagnostic tests .....                                  | 31 |
| 11.5                  | Analyzing, reporting and classification .....                 | 31 |
| 12                    | Procedure 5: Test procedure for rotor windings in slots ..... | 31 |
| 12.1                  | General .....                                                 | 31 |
| 12.1.1                | Test object definition .....                                  | 31 |
| 12.1.2                | Test procedures .....                                         | 31 |
| 12.2                  | Test objects .....                                            | 31 |
| 12.2.1                | Construction of test objects .....                            | 31 |
| 12.2.2                | Number of test specimens .....                                | 32 |
| 12.2.3                | Quality assurance tests .....                                 | 32 |
| 12.2.4                | Initial diagnostic tests .....                                | 32 |
| 12.3                  | Thermal ageing sub-cycle .....                                | 32 |
| 12.3.1                | Ageing temperatures and sub-cycle lengths .....               | 32 |
| 12.3.2                | Ageing means .....                                            | 32 |
| 12.3.3                | Ageing procedure .....                                        | 32 |
| 12.4                  | Diagnostic sub-cycle .....                                    | 32 |
| 12.4.1                | Mechanical conditioning .....                                 | 32 |
| 12.4.2                | Moisture conditioning .....                                   | 32 |
| 12.4.3                | Voltage test .....                                            | 33 |
| 12.4.4                | Other diagnostic tests .....                                  | 33 |
| 12.5                  | Analyzing, reporting and classification .....                 | 33 |
| Annex A (informative) | Motorette construction (examples) .....                       | 34 |
| Annex B (informative) | Models for windings on poles (examples) .....                 | 39 |
| Annex C (informative) | Equipment for moisture tests .....                            | 46 |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 – Candidate system qualified for the same thermal class and the same expected service life ..... | 17 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 2 – Candidate system qualified for the same thermal class and different expected service life ..... | 18 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 3 – Candidate system qualified for a different class temperature and the same expected service life .....        | 19 |
| Figure 4 – Candidate system qualified for a different service life and different thermal class from the reference ..... | 20 |
| Figure A.1 – Components of motorette before final assembly .....                                                        | 37 |
| Figure A.2 – Completely assembled and varnished motorette .....                                                         | 37 |
| Figure A.3 – Manufacturing drawing of motorette frame .....                                                             | 38 |
| Figure B.1 – Test fixture for random wire-wound field coil .....                                                        | 40 |
| Figure B.2 – Random wire-wound field coil mounted on the test fixture .....                                             | 40 |
| Figure B.3 – Manufacturing drawing for simulating pole for random wire-wound field coil test fixture .....              | 41 |
| Figure B.4 – Manufacturing drawing for simulated frame for random wire-wound field coil test fixture .....              | 42 |
| Figure B.5 – Test fixture for precision wire-wound field coil .....                                                     | 43 |
| Figure B.6 – Precision wire-wound field coil mounted on the test fixture .....                                          | 43 |
| Figure B.7 – Manufacturing drawing for simulated pole for precision wire-wound field coil test fixture .....            | 44 |
| Figure B.8 – Manufacturing drawing for simulated frame for precision wire-wound .....                                   | 45 |
| Figure C.1 – Diagram illustrating basic principle of condensation chamber with cooled test objects .....                | 47 |
| Figure C.2 – Cut away of condensation chamber with cooled test objects .....                                            | 48 |
| Table 1 – Thermal classes .....                                                                                         | 12 |
| Table 2 – Recommended temperatures and ageing sub-cycle exposure periods .....                                          | 13 |
| Table 3 – Conditions for qualification of candidate system .....                                                        | 16 |
| Table 4 – Test voltages .....                                                                                           | 23 |

# INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

### **Part 18-21: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for wire-wound windings – Thermal evaluation and classification**

#### FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60034-18-21 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1992, and its amendments 1 (1994) and 2 (1996), and constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to the previous edition can be seen in the introduction of some basic statistical methods in the evaluation of comparative data. Moreover, the standard states a simpler use of different test procedures.



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

|             |                  |
|-------------|------------------|
| FDIS        | Report on voting |
| 2/1672/FDIS | 2/1682/RVD       |

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

NOTE A table of cross-references of all IEC TC 2 publications can be found on the IEC TC 2 dashboard on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

**IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

## INTRODUCTION

IEC 60034-18 comprises several parts, dealing with different types of functional evaluation and special kinds of test procedures for insulation systems of rotating electrical machines. Part IEC 60034-18-1 provides general guidelines for such procedures and qualification principles. The subsequent parts IEC 60034-18-21, IEC 60034-18-22, IEC 60034-18-31, IEC 60034-18-33, IEC 60034-18-34, IEC 60034-18-41 and IEC 60034-18-42 give detailed procedures for the various types of windings.

This part IEC 60034-18-21 deals with the thermal evaluation and classification of insulation systems for wire-wound (usually random wound) windings.

Parts relevant to this document are:

- IEC 60034-18-1: General guidelines
- IEC 60034-18-31: Test procedures for form-wound windings
- IEC 60034-18-41: Qualification and type tests for Type I electrical insulation systems used in rotating electrical machines fed from voltage converters
- IEC 60034-18-42: Qualification and acceptance tests for partial discharge resistant electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed from voltage converters

## **ROTATING ELECTRICAL MACHINES –**

### **Part 18-21: Functional evaluation of insulation systems –**

### **Test procedures for wire-wound windings –**

### **Thermal evaluation and classification**

## **1 Scope**

This part of IEC 60034 gives test procedures for the thermal evaluation and classification of insulation systems used or proposed for use in wire-wound alternating current (a.c.) or direct current (d.c.) rotating electrical machines.

The test performance of a candidate insulation system is compared to the test performance of a reference insulation system with proven service experience.

IEC 60034-18-1 describes general testing principles applicable to thermal endurance testing of insulation systems used in rotating electrical machines. The principles of IEC 60034-18-1 are followed unless otherwise stated in IEC 60034-18-21.

## **2 Normative references**

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

IEC 60034-1, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-18-1:2010, *Rotating electrical machines – Part 18-1: Functional evaluation of insulation systems – General guidelines*

IEC 60085, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60216-1, *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

IEC 60216-5, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material*

IEC 60455 (all parts), *Resin based reactive compounds used for electrical insulation*

IEC 60464 (all parts), *Varnishes used for electrical insulation*

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

## **3 General considerations**

### **3.1 Reference insulation system**

A reference insulation system shall be tested using the same test procedure as for the candidate system. See 4.3 of IEC 60034-18-1.

### 3.2 Test procedures

Each thermal endurance test generally consists of a series of cycles, where each cycle comprises a thermal ageing sub-cycle followed by a conditioning sub-cycle and a diagnostic sub-cycle.

There are five different test procedures, according to the type of test object, namely, Procedure 1: Motorette test procedure, Procedure 2: Motor test procedure, Procedure 3: Test procedure for stator windings in slots, Procedure 4: Test procedure for pole windings and Procedure 5: Test procedure for rotor windings in slots and they are described in Clauses 8, 9, 10, 11 and 12. The thermal endurance test procedure uses several cycles, each consisting of:

- a thermal ageing sub-cycle;
- a diagnostic sub-cycle, which includes mechanical and moisture conditioning followed by a diagnostic voltage test, performed in that order.

In addition to the required tests, additional non-destructive informative tests may be used.

## 4 Test objects and test specimens

### 4.1 Construction of test objects

It is expected that the various insulating materials or components making up any insulation system to be evaluated by these test procedures will first be screened using company screening procedures. Temperature indices for insulating materials may be used. However, temperature indices of insulating materials cannot be used to classify insulation systems but are to be considered only as indicators for the thermal functional tests for systems. For electrical isolation systems see IEC 60085.

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

Test objects may be actual machines, machine components or models.

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

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

The systems compared shall have arrangements consistent with those to be used in machines.

**NOTE** It is recognized that markedly different values of test life may be obtained for the same insulating materials, depending on insulation thicknesses and creepage distances.

Test specimens simulating parts of a coil or winding may be used for evaluation, if stresses acting on these parts in service can be reproduced reliably in the test.

Particular types of models have been used successfully in some countries and examples of these are illustrated in Annexes A and B.

The manufacturer should make certain that the materials proposed for use in the new insulation system can be handled without deterioration of properties in the intended manufacturing processes.

#### **4.2 Verification of effects of minor changes in insulation systems**

A minor change is described in IEC 60034-18-1. An example of a minor change in a wire-wound insulation system may include purchasing a key component material from a new supplier without changing the material specification. If thermal ageing evaluation is appropriate to evaluate a minor change to a service-proven insulation system, it is acceptable to use one temperature to age one test object consisting of no fewer than the recommended number of test specimens.

Reduced evaluation should be performed using an ageing temperature cycle within the range of known thermal endurance data for the service-proven system.

#### **4.3 Number of test specimens**

Tests should be conducted using no fewer than five test specimens per ageing temperature, per insulation system. This is the minimum recommended number for statistical confidence.

#### **4.4 Quality control**

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

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

To eliminate defective test objects, they should be qualified first by visual examination and then by over-voltage tests consistent with the machine or coil tests in the manufacturing facility, or as described in the appropriate subclauses for diagnostic tests, whichever voltage test is greater.

NOTE When appropriate additional screening (or qualifying) tests may be used, including the following:

- insulation resistance measurement;
- loss tangent and capacitance measurement;
- partial discharge inception voltage measurement;
- balance of phase currents while running;
- repetitive surge;
- leakage current;
- high-voltage test.

Any widely deviating test object should be discarded or inspected to determine the reason for the deviation and appropriate allowances should be made for the deviations.

#### **4.5 Initial diagnostic tests**

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

## 5 Test procedures

### 5.1 General principles of diagnostic tests

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

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

The test procedure consists of several ageing tests, performed at different ageing temperatures. At each temperature, the test life of the insulation system is determined. Based on these test life values, the life at the class temperature is estimated relative to that of the reference system at its class temperature.

Each ageing test is performed in cycles, each cycle consisting of a thermal ageing sub-cycle and a diagnostic sub-cycle. The diagnostic sub-cycle may include mechanical and moisture conditioning procedures, followed by a diagnostic voltage test and other diagnostic tests.

### 5.2 Ageing temperatures and sub-cycle lengths

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

The intended thermal class (or class temperature) of the candidate insulation system as well as the known class of the reference system shall be selected from Table 1, which is a subset of the thermal classes defined in IEC 60085 and IEC 60505.

**Table 1 – Thermal classes**

| Thermal class rating | Thermal class<br>°C |
|----------------------|---------------------|
| 105 (A)              | 105                 |
| 120 (E)              | 120                 |
| 130 (B)              | 130                 |
| 155 (F)              | 155                 |
| 180 (H)              | 180                 |
| 200 (N)              | 200                 |

NOTE The thermal classes 105 (A), 120 (E) and 200 (N) in Table 1 are nowadays seldom used in rotating electrical machines and are not found in IEC 60034-1.

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

The lowest ageing temperature should be selected such as to produce the mean test life of about 5 000 h and the highest temperature should produce a mean test life of at least 100 h. This is generally accomplished by choosing the lowest ageing temperature to correspond to an exposure period of 28 to 35 days or longer.

In addition, at least two higher ageing temperatures should be selected, separated by intervals of 20 K or more. Intervals of less than 20 K may be suitable when tests are made at more than four ageing temperatures. The highest temperature shall provide a mean test life of at least 100 h.

To minimize the uncertainty introduced by extrapolation the lowest test temperature should not exceed by more than 25 K the temperature to which the results will be extrapolated.

If the intended thermal class for the candidate insulation system differs from the known class of the reference system, different ageing temperatures and sub-cycle lengths are to be selected in an appropriate manner.

Where the candidate insulation system represents a minor change from a classified system, 4.2 may be followed.

It is recommended that the lengths of ageing sub-cycles for the intended class temperature be selected so as to give a mean life of about 10 cycles for each ageing temperature.

**Table 2 – Recommended temperatures and ageing sub-cycle exposure periods**

| Anticipated thermal class                           | 105   |       | 120   |       | 130   |       | 155   |       | 180   |       | 200   |       | Days per ageing sub-cycle |
|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|
| $T_1 < T_A \leq T_2$                                | $T_1$ | $T_2$ | $T_1$ | $T_2$ | $T_1$ | $T_2$ | $T_1$ | $T_2$ | $T_1$ | $T_2$ | $T_1$ | $T_2$ |                           |
| Suggested range for ageing temperature ( $T_A$ ) °C | 170   | 180   | 185   | 195   | 195   | 205   | 220   | 230   | 245   | 255   | 265   | 275   | 1 – 2                     |
|                                                     | 160   | 170   | 175   | 185   | 185   | 195   | 210   | 220   | 235   | 245   | 255   | 265   | 2 – 3                     |
|                                                     | 150   | 160   | 165   | 175   | 175   | 185   | 200   | 210   | 225   | 235   | 245   | 255   | 4 – 6                     |
|                                                     | 140   | 150   | 155   | 165   | 165   | 175   | 190   | 200   | 215   | 225   | 235   | 245   | 7 – 10                    |
|                                                     | 130   | 140   | 145   | 155   | 155   | 165   | 180   | 190   | 205   | 215   | 225   | 235   | 14 – 21                   |
|                                                     | 120   | 130   | 135   | 145   | 145   | 155   | 170   | 180   | 195   | 205   | 215   | 225   | 28 – 35                   |
|                                                     | 110   | 120   | 125   | 135   | 135   | 145   | 160   | 170   | 185   | 195   | 205   | 215   | 45 – 60                   |

NOTE This Table 2 is designed to give flexibility to laboratories to choose ageing times and temperatures in such a way as to optimize the use of their manpower and facilities. It accommodates the ideal situation (based on 10 K rule) that allows for doubling the ageing time for every 10 K decrease in ageing temperature (e.g. 1, 2, 4, 8, 16, 32, and 64 days of ageing). It allows the ageing to be performed in multiples of one week at the lower ageing temperatures (e.g. 1, 2, 4, 7, 14, 28 and 49 days of ageing). It also allows the ageing to be performed in such a way as to maximize the 5-day working week. This has the main benefit, that always starting an ageing sub-cycle on a Friday and the diagnostic tests on a Monday (e.g. 3, 10, 17, 31 and 59 days of ageing) is possible.

### 5.3 Methods of heating

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

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

- direct heating by electric current;
- starting and reversing duty (motor test);

- superimposition of direct current on the normal alternating current of a motor running at no load;
- application of flexible heaters to the test specimens.

#### **5.4 Thermal ageing sub-cycle**

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

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

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

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

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

### **6 Diagnostic sub-cycle**

#### **6.1 Conditioning sequence**

Following each sub-cycle of thermal ageing, each specimen shall be subjected to mechanical and moisture conditioning procedures, followed by a voltage withstand and other diagnostic tests, as appropriate.

#### **6.2 Mechanical conditioning**

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

A widely used method for applying mechanical stress is to mount each test object on a shake table and operate it for a period of 1 h with a 50 Hz or 60 Hz oscillating motion. Other methods, such as repeated impact and bending, are also used.

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



### 6.3 Moisture conditioning

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

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

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

NOTE In case of fully sealed insulation systems, a water immersion test may be additionally needed for moisture sealed application.

### 6.4 Voltage tests

In order to check the condition of the specimens and determine when the end of test life has been reached, voltage is applied as a part of the selected diagnostic sub-cycle. The value and waveform of the voltage to be applied is stated in the subsequent subclauses of this standard, as e.g. given in 8.4.4, 9.4.3, 10.4.3, 11.4.3 and 12.4.3. When power-frequency voltage is specified, the frequency shall be in the range of approximately 49 Hz to 62 Hz.

The voltage may be applied from coil to frame, from coil to coil, from turn to turn or from wire to wire as appropriate. If a moisture test is used, the voltage test is applied at room temperature when the test specimens are still wet. Tap water quality shall thereby be used. The specimen surface may be wiped dry at the end connections.

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

Care shall be taken that unintended switching surges do not subject the insulation systems to transient surge voltages.

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

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

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

### 6.5 Other diagnostic tests

It may be desirable to take periodic, non-destructive measurements of insulation condition on some of the specimens during the course of the tests. Factors such as insulation resistance, loss tangent, and partial discharge are examples. By noting changes in these measurements and correlating them with time before failure occurs, it may be possible to learn something about the ageing process in the insulation.

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

## 7 Reporting and functional evaluation of data from candidate and reference systems

### 7.1 General

The procedures to determine suitable end-point criteria and construct a graph of thermal endurance are given in 5.2 of IEC 60034-18-1.

For a full qualification test, the log mean life of each test object is plotted with its 90 % confidence limits against the inverse temperature, according to IEC 60216-1. The abscissa units are reciprocal absolute temperature (1/K) but are usually expressed in Celsius temperature. The ordinate units are expressed in hours. The result should be a semi-logarithmic plot showing straight lines for the candidate system and reference system and 90 % confidence intervals for their mean values at each test temperature.

IEC 60034-18-1, 5.2 recommends a general list of information to be recorded and included in the test report. Additional items may be reported where relevant. IEC 60216-5 provides a guide for complete statistical analysis of the results.

### 7.2 Determining qualification

#### 7.2.1 Overview

The first step is to define the expected service life and thermal class of the candidate system, then to compare the performance of reference and candidate systems with respect to the qualification criteria given in Table 3. Caution is recommended when qualifying a candidate system for a different thermal class and/or service life, because of the assumptions implicit in the approach.

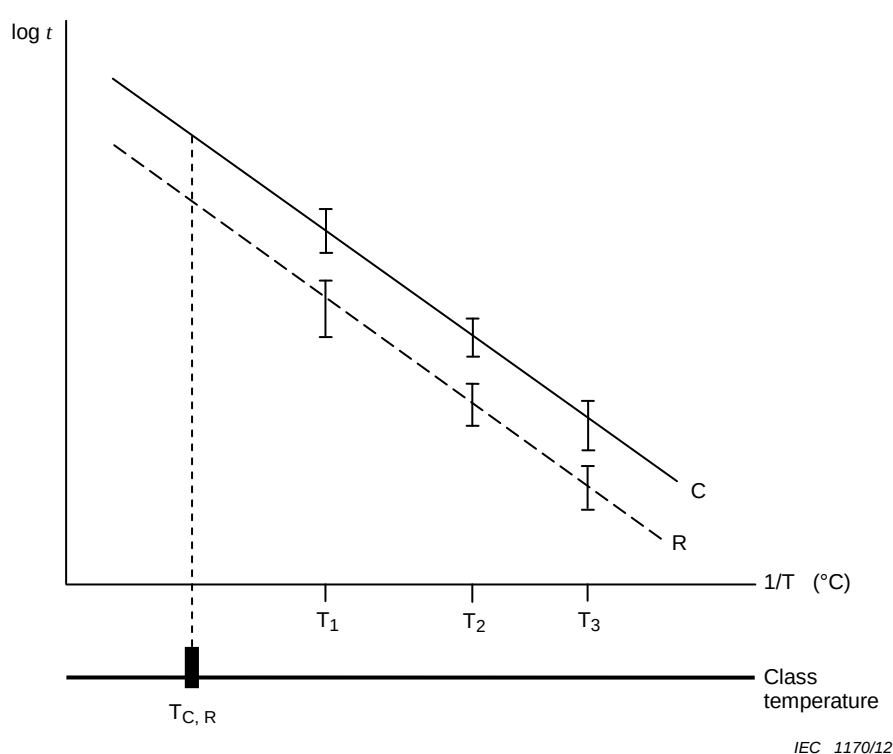
Before proceeding with the evaluation by comparison, it shall be established that the regression lines of the candidate and reference systems fit the data well (it is recommended that  $R^2 \geq 0,98$ ) and there is no indication of any change of ageing mechanism within the range of test temperatures. If either of the regression lines is non-linear, refer to 7.2.6, where a simple test of linearity is described.

**Table 3 – Conditions for qualification of candidate system**

| Case | Performance relative to reference system |                       | Test temperatures (from Table 2) | Qualification criteria                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | Class temperature ( $T_{\text{class}}$ ) | Expected service life |                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| A    | Same                                     | Same                  | Same                             | Confidence interval of candidate system overlaps or exceeds that of the reference system, at all test temperatures.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| B    | Same                                     | Different             | Same                             | Following the appropriate adjustments to the candidate system confidence limits (see description in the text for each case):<br>1. Confidence interval of candidate system shall overlap or exceed the confidence interval of the reference system.<br>2. The candidate system shows continually improving performance, i.e., the slope of its regression line is greater than or equal to the slope of reference system regression line. |
| C    | Different                                | Same                  | Different                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| D    | Different                                | Different             | Different                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

### 7.2.2 Case A: Qualification for the same class temperature and same expected service life

To qualify the candidate system for the same class temperature and same expected service life (Table 3, Case A), the candidate system and reference system are tested using the same thermal ageing cycles. The candidate system is qualified if its confidence interval overlaps or exceeds that of the reference across the range of test temperatures. An example is shown in Figure 1, with candidate system “C” compared to reference system “R” and showing exceeding confidence intervals at all test temperatures.  $T_{C,R}$  is the thermal class of the reference system.



**Figure 1 – Candidate system qualified for the same thermal class and the same expected service life**

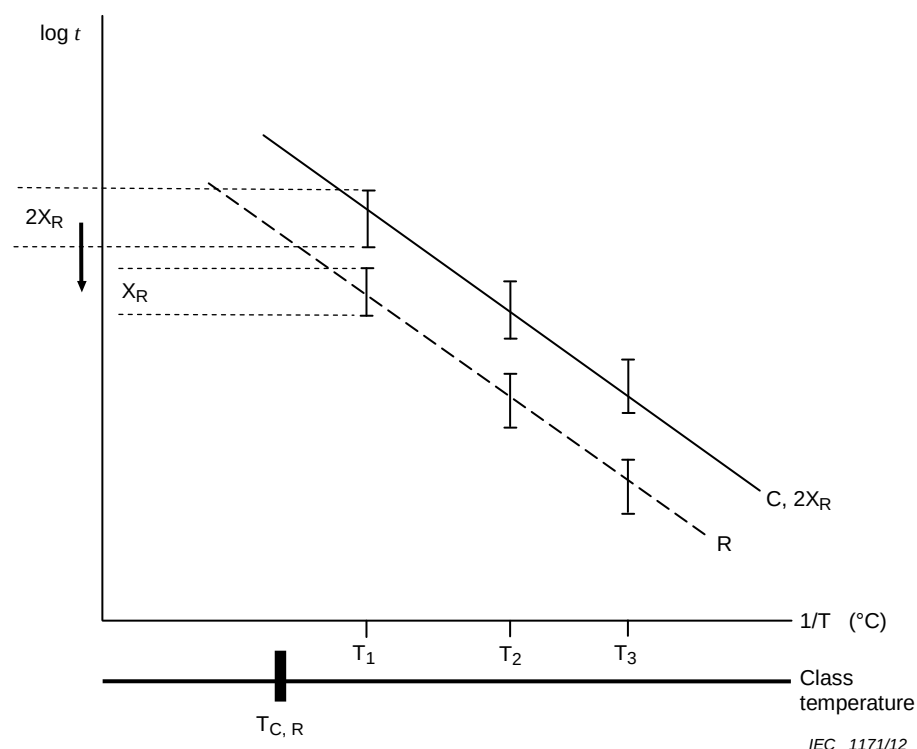
### 7.2.3 Case B: Qualification for the same class temperature and a different expected service life

To qualify the candidate system for the same class temperature and a different expected service life (Table 3, Case B), the candidate system and reference system are tested using the same thermal ageing cycles.

The candidate confidence limits at each temperature are shifted on the vertical axis by an amount equal to the agreed-upon change in service life, within the range  $X_R/2$  to  $2X_R$ , where  $X_R$  is the life of the reference system at each temperature. The candidate system is qualified if its shifted confidence intervals overlap or exceed those of the reference system, and the candidate system shows a continually improving performance, i.e., the slope of its regression line is steeper than or equal to the slope of the reference system regression line.

Figure 2 shows an example of a candidate system assessed for qualification for the same thermal class, and an expected service life double that of the reference system. When the full

candidate system line is decreased by a factor of 2, its 90 % confidence limits overlap those of the reference. For simplicity, the shift on the vertical axis is shown for only the confidence limits at a single temperature,  $T_1$ . Note that  $T_{C,R}$  is the thermal class of the reference system.



**Figure 2 – Candidate system qualified for the same thermal class and different expected service life**

If the candidate system regression line crosses that of the reference system within the range of measurement, it is qualified for a higher service life at  $T_{C,R}$  only if it demonstrates improved performance compared to the reference system at  $T_{C,R}$  by the required life interval.

If there exists the possibility of thermal overloading of the insulation system while in service, the qualification requirements for the candidate system should be evaluated as in case A, where the candidate system lifetime is equal to or better than that of the reference system across the test temperature range.

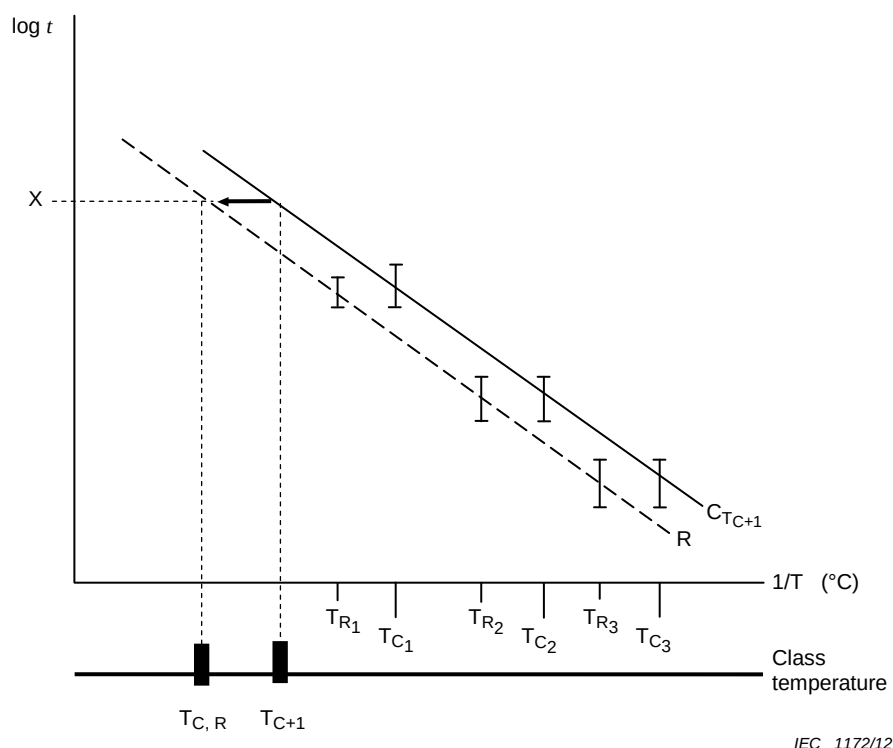
#### **7.2.4 Case C: Qualification for a different class temperature and same expected service life**

To qualify a candidate system for a different class temperature and the same expected service life (Table 3, Case C), the candidate system is tested using the ageing cycles that are appropriate to its intended thermal class. This approach is valid provided that the intended thermal class of the candidate is no more than one class higher or lower than the reference system thermal class. The lowest reference system test temperature should not be more than 25 K from its known class temperature, and the lowest test temperature of the candidate system should not be more than 25 K from its intended class temperature.

The candidate confidence limits at each temperature are shifted on the horizontal axis by an amount equal to the agreed-upon change in class temperature, where the intended thermal class of the candidate is no more than one higher or lower than the reference system thermal class. The candidate system is qualified if its shifted confidence interval overlaps or exceeds that of the reference system and the candidate system shows continually improving

performance, i.e., the slope of its regression line is steeper than or equal to the slope of reference system regression line.

Figure 3 shows an example of a candidate system assessed for qualification for the same expected service life at the next higher class temperature, where the confidence interval for the candidate tested using the cycles for a higher class temperature is shifted back to the class temperature of the reference. When the horizontal axis shift is completed, the confidence intervals overlap or exceed those of the reference system.  $T_{C,R}$  is the thermal class of the reference system and  $T_{C+1}$  is the intended thermal class of the candidate.



**Figure 3 – Candidate system qualified for a different class temperature and the same expected service life**

### 7.2.5 Case D: Qualification for a different class temperature and different expected service life

To qualify a candidate system for a different class temperature and a different expected service life (Table 3, Case D), the candidate system is tested using the ageing cycles that are appropriate to its intended thermal class. This approach is valid provided that the intended thermal class of the candidate is no more than one higher or lower than the reference system thermal class. The lowest reference system test temperature should not be more than 25 K from its known class temperature and the lowest test temperature of the candidate system should not be more than 25 K from its intended class temperature.

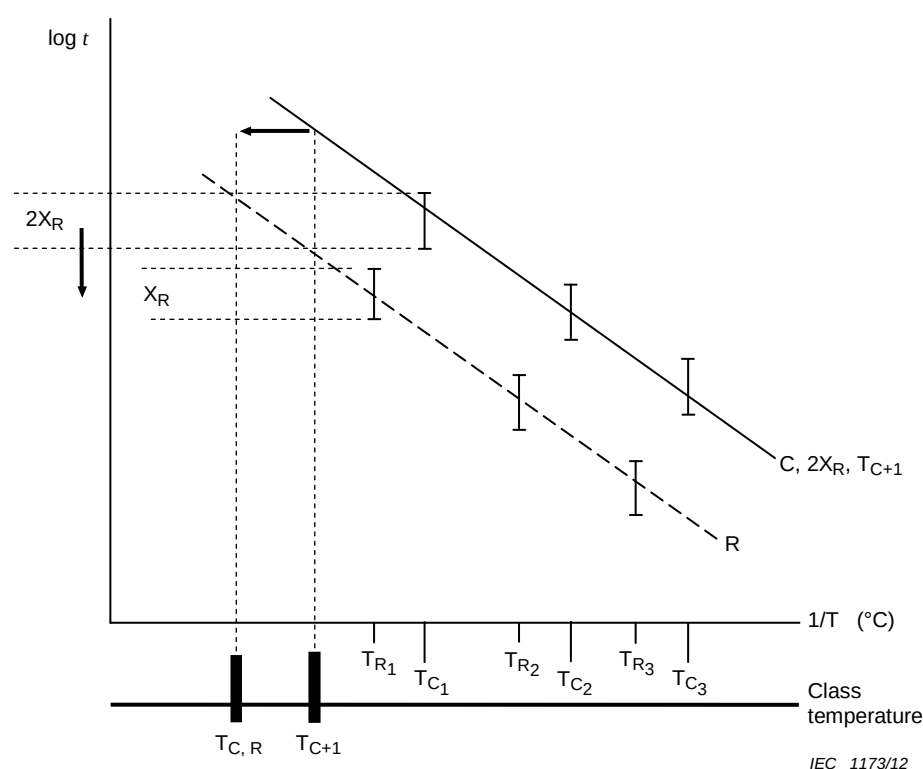
Qualification of the candidate system is determined by a shift of both the vertical and horizontal axes.

The candidate confidence limits at each temperature are shifted on the vertical axis by an amount equal to the agreed-upon change in service life, within the range  $X_R/2$  to  $2X_R$ , where  $X_R$  is the life of the reference system at each temperature.

The candidate confidence limits at each temperature are then shifted on the horizontal axis by an amount equal to the agreed-upon change in class temperature, where the intended thermal

class of the candidate is no more than one higher or lower than the reference system thermal class. The candidate system is qualified if its shifted confidence interval overlaps or exceeds that of the reference system, and the candidate system shows continually improving performance, i.e., the slope of its regression line is steeper than or equal to the slope of reference system regression line.

Figure 4 shows an example of a candidate system assessed for qualification for double the expected service life of the reference, at the next higher class temperature than the reference. For simplicity, the shift on the vertical axis is shown for only the confidence limits at a single temperature,  $T_1$ . The same candidate system is also assessed for qualification at a higher class temperature, where the confidence interval for the candidate tested using the cycles for a higher class temperature is shifted back to the class temperature of the reference, where  $T_{C,R}$  is the thermal class of the reference system and  $T_{C+1}$  is the intended thermal class of the candidate.



**Figure 4 – Candidate system qualified for a different service life and different thermal class from the reference**

### 7.2.6 Non-linearity of regression lines

The candidate and reference systems may respond differently to the combination of ageing factors, resulting in curved regression lines. A slight bend in the graph indicates that more than one chemical process or failure mechanism influences thermal ageing. If a straight line cannot be drawn within the tolerance bars of all the points, the data suggest that there is a significant change in the principal ageing mechanism within the range of test temperatures. Confirmation of the curve by obtaining an additional test point at a lower or intermediate temperature is recommended.

### 7.2.7 Reduced evaluation

For a reduced evaluation, one test object is tested at a single time-temperature cycle within the temperature range used to produce the reference line. In this case, the log mean life of

the test object is similarly plotted, along with its 90 % confidence limits, against the reference system line.

This approach is not as rigorous or complete as that of a full qualification, and therefore it is reserved for evaluation of minor changes to the insulation system, i.e., those not expected to affect significantly the system's endurance under thermal stress conditions.

The candidate system is qualified by reduced evaluation if the 90 % confidence limits of the point for the test object overlaps or exceeds the confidence interval of the reference system.

## **8 Procedure 1: Motorette test procedure**

### **8.1 General**

#### **8.1.1 Test object definition**

Test objects may be actual machines, machine components or models. This procedure, using motorettes as test objects, shall be referred to as IEC 60034-18-21, Procedure 1.

#### **8.1.2 Test procedure**

This thermal endurance test procedure consists of several cycles. Each cycle consists of:

- a thermal ageing sub-cycle;
- a diagnostic sub-cycle which includes a mechanical test, a moisture test with test-specimen cooling and a voltage test, performed in that order.

### **8.2 Test objects**

#### **8.2.1 Construction of test objects**

The test object in this procedure, designated motorette, models the insulation system to be tested.

The motorette shall be made to embody all of the essential elements and should be as nearly as possible representative of a complete winding insulation system.

An example of a motorette used to test wire-wound winding insulation is described in Annex A. The motorette simulates a wire-wound distributed or concentrated winding of a slotted stator structure.

For the case of qualifying concentrated windings, the pole winding motorettes of Annex B should preferably be used.

#### **8.2.2 Number of test objects**

At least ten motorettes should be tested at each ageing temperature, for each insulation system.

#### **8.2.3 Quality assurance tests**

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

- visual inspection of the test objects;
- voltage tests according to IEC 60034-1;
- 400 V a.c. conductor-to-conductor test with 50 mA circuit breaker to detect failure.

#### **8.2.4 Initial diagnostic tests**

Each completed test object shall be subjected to the diagnostic tests of Clause 6, before starting the first thermal ageing sub-cycle.

### **8.3 Thermal ageing sub-cycle**

#### **8.3.1 Ageing temperatures and sub-cycle lengths**

The procedures given in 5.2 shall be followed.

#### **8.3.2 Means of heating**

Ageing ovens according to 5.3 shall be used.

#### **8.3.3 Ageing procedure**

The motorettes shall be placed directly into the hot ageing oven at the beginning of the ageing sub-cycle, and removed from the oven directly to room temperature air at the end of the sub-cycle.

In order to diminish the effects of differences in actual ageing temperatures between individual motorettes, the locations of the motorettes in the ageing oven should be randomized in successive heat ageing sub-cycles.

### **8.4 Diagnostic sub-cycle**

#### **8.4.1 General**

For performing the diagnostic sub-cycles, the procedures and explanations given in Clause 6 are applied.

#### **8.4.2 Mechanical conditioning**

Following each sub-cycle of thermal ageing and after cooling to room temperature, each motorette is subjected to mechanical stress on a shake table for a period of 1 h.

The preferred amplitude of the vibration corresponds to an acceleration of 1,5 *g* (0,2 mm peak-to-peak amplitude at 60 Hz or 0,3 mm at 50 Hz). If the principle of service-related stresses (see 6.2) leads to a larger vibration amplitude, it shall be used and reported.

The motorettes are thereby mounted so that the motion occurs at right angles to the plane of the coils so that the coil ends are excited to vibrate as they would under radial end-winding forces in an actual motor. This vibration test is made at room temperature and without any applied voltage.

#### **8.4.3 Moisture conditioning**

Moisture conditioning shall be performed for at least 48 h, according to 6.3. No voltage is applied during the moisture exposure.

The principle of cooled test objects shall be used. See Clause C.2 of Annex C. The motorettes shall be at a 15 °C to 35 °C temperature range. The actual motorette temperatures shall be reported. No voltage is applied to the test objects during this test. See Annex C for examples of equipment for such tests. Alternatively, climatic chambers can also be utilized.

#### **8.4.4 Voltage test**

In order to check the condition of the test specimens and determine when the end of test life has been reached, power-frequency voltage is applied after each successive exposure to



moisture, as given in Table 4. The diagnostic voltage test is carried out throughout the thermal ageing sub-cycle.

The test voltage to be used to frame and between coils should correspond to the upper limit of the voltage range for which that insulation system is intended. A voltage other than 660 V may be employed in order, for example, to permit the use of much test data taken at 600 V. Other test voltages may be used for end-point determination based on test experience as long as these voltages are maintained consistently for both the reference and the candidate systems. Deviations from values given in Table 4 shall be reported.

**Table 4 – Test voltages**

| Rated voltage<br>in service                                                                       | Recommended power-frequency voltage for testing |               |                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|
|                                                                                                   | V (r.m.s. value)                                |               |                                 |
|                                                                                                   | To frame                                        | Between coils | Between conductors <sup>a</sup> |
| < 400                                                                                             | 400                                             | 400           | 110                             |
| 401 – 690                                                                                         | 690                                             | 690           | 110                             |
| > 690                                                                                             | $2 U_N$                                         | $2 U_N$       | 110                             |
| <sup>a</sup> Range of acceptable voltages; however, the value chosen should be used consistently. |                                                 |               |                                 |

The voltages are applied for a period of 10 min after the test specimens are kept 48 h in the equipment at 95 % RH to 98 % RH, wet with moisture, but without any droplets. The applied voltage is held successively, each time for 10 min using appropriate circuitry, first between the parallel wound conductors, then from coil to coil, and finally from all coils to frame. It is suggested that surge protectors be included in the test circuit to eliminate unintended high-voltage spikes.

Experience indicates that the characteristics of the circuit breakers used to detect failure are very important. See Clause A.3 of Annex A.

#### 8.4.5 Other diagnostic tests

Other diagnostic tests may be performed according to 6.5.

#### 8.5 Analyzing, reporting and classification

The procedures given in Clause 7 shall be followed.

### 9 Procedure 2: Motor test procedure

#### 9.1 General

##### 9.1.1 Test object definition

Test objects may be actual machines, machine components or models. This procedure, using actual motors as test objects, shall be referred to as IEC 60034-18-21, Procedure 2.

##### 9.1.2 Test procedure

This thermal endurance test procedure consists of several cycles. Each cycle consists of:

- a thermal ageing sub-cycle;
- a diagnostic test sub-cycle, which may include a moisture test. Voltage is applied continuously during the running of the motor and is also a diagnostic factor.

Greater thermomechanical stress and higher concentration of the products of decomposition occur during tests at higher than actual temperature. Also, it is recognized that failures from abnormally high mechanical stress or voltages are generally of a different character from those failures which are produced in long service.

Due to variations in control of key test parameters, manufacturing processes and methods of testing motors, it is exceedingly difficult to compare motor tests of one facility to those of another. It is the intent of this procedure to compare motor insulation systems within one manufacturing and one testing facility.

Even though actual motors are tested, the results may not be used to determine endurance time in actual service in an absolute sense. The tests may be used as a means of classification only by comparing insulation systems.

## **9.2 Test objects**

### **9.2.1 Construction of test objects**

The test objects are complete motors. A motor may be modified for the test to increase its mechanical life. To increase its temperature rise various techniques may be employed provided no changes are made in the insulation system and its immediate environment.

In the tests on actual motors the dimensions of components and the manufacturing processes of winding and shaping do affect the test results. Therefore, the manufacturing processes should be those used or contemplated for use in normal production.

#### **9.2.2 Number of test objects**

At least five motors should be tested at each ageing temperature for each insulation system.

#### **9.2.3 Quality assurance tests**

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

- visual inspection before assembly of the motors;
- voltage tests according to IEC 60034-1.

#### **9.2.4 Initial diagnostic tests**

Each completed test object shall be subjected to the diagnostic tests of 9.4, before starting the first thermal ageing sub-cycle.

## **9.3 Thermal ageing sub-cycle**

### **9.3.1 Ageing temperatures and sub-cycle lengths**

The procedures given in 5.2 shall be followed.

Test temperatures shall be measured by the resistance method. Thermocouples may be installed for purposes of control. The temperature should be controlled to the accuracy prescribed in 5.3 after the thermal ageing temperature is reached. If the temperature of any one motor deviates appreciably from the average for the group being run at a common temperature it should be so reported and taken into account in the analysis of the data.

#### **9.3.2 Means of heating**

The mode of heat generation is dictated by the type of motor being used in the test and the laboratory equipment available. Higher than normal winding temperatures can be obtained by increasing motor losses by such means as enlarging the air gap, starting and reversing each

motor, superimposition of direct current on the normal alternating current, or by increasing the temperature of the air surrounding the motor. For temperature regulation during the heat ageing portion of the cycle, the motors may be run at normal voltage and frequency with an electrical control which automatically starts and stops or reverses the direction of rotation of the motors at intervals. Other acceptable means of temperature control include automatic voltage variation, adjustment of the surrounding air temperature, or combinations thereof.

The means of heating shall be described in detail in the test report.

Single-phase motors shall have at least 250 start-stop operations each day of the heat ageing portion of the cycle. The starter winding of a single-phase motor normally operates at a much higher current density than the main winding during starting. The number of starts should be chosen to ensure a temperature of 10 K to 30 K higher than the main winding.

Polyphase motors shall have at least 1 000 starts or reversals each day of the heat ageing portion of the cycle. Often the electrical loss during reversal is used to maintain the elevated temperatures, in which case the number of reversals may greatly exceed 1 000 per day. At the highest temperature test the total time of exposure is relatively short which results in a relatively low number of reversals during the life of the test. At the lowest temperature, the time of exposure can be 16 to 20 times as long as that of the highest level. A wide variation in total number of starts would affect the slope of the time-temperature curve within a cycle. Thus, it is recommended that the number of reversals at the low temperature be no greater than twice those at the high temperature. Ideally, an equal number of reversals at each temperature should be sought.

### **9.3.3 Ageing procedure**

Motors are run during the thermal ageing cycle as described in 9.3.2. The heating-up time is to be considered as part of the thermal ageing period while the cooling-down time is not. At the end of the ageing sub-cycle, motors are allowed to cool to room temperature before starting the diagnostic sub-cycle. The cooling rate may be increased by running the motors at no-load for a time, with unrestricted ventilation if the machines are open-ventilated.

### **9.3.4 Mechanical stresses during the thermal ageing sub-cycle**

Mechanical stress is obtained in tests on actual motors by the normal vibration of the motor running and with starts or reversals, or both. There is mechanical shock from starting or reversing. The vibration amplitude at twice the line frequency can be increased by enlarging the air gap. Vibration is a function of force and the larger air gap generally decreases the vibration rather than increasing the vibration. Larger forces are present in the windings as a result of the high currents during starting and reversing of the motors. In a test, these mechanical forces occur at elevated temperatures.

The driving method and vibration level should be reported.

The test motors should either be solidly mounted or mounted on shock pads that will give a uniform amount of shock to all motors. The mounting method shall be reported. The test objects containing the candidate insulation system shall be mounted in the same way as the test objects containing the reference system.

## **9.4 Diagnostic sub-cycle**

### **9.4.1 Mechanical conditioning**

Following each sub-cycle of thermal ageing, after cooling to room temperature, each motor is subjected to mechanical stress, for example on a shake table, for a period of 1 h.

The preferred amplitude of the vibration corresponds to an acceleration of 1,5 g (0,2 mm peak-to-peak amplitude at 60 Hz or 0,3 mm at 50 Hz). If the principle of service-related stresses (see 6.2) leads to a larger vibration amplitude, it shall be used and reported.

#### **9.4.2 Moisture conditioning**

Moisture conditioning shall be performed for at least 48 h, according to 6.3. No voltage is applied during the moisture exposure.

For totally enclosed machines (degrees of protection IP44 or more) and for d.c. machines a moisture test is not mandatory because it can be impracticable.

Moisture shall be visible on the windings as droplets, without puddles, during the moisture test. To ensure visible condensation, the insulation system should be at a lower temperature than the dew point of the surrounding moisture-laden atmosphere at all times. The preferred method of meeting this requirement is by the use of a condensation test chamber with cooled test objects described in Clause C.2 of Annex C.

However, larger motors can be difficult to move and difficult to support in equipment for a moisture test or such equipment may not be available. Other methods of applying moisture include: placing an enclosing hood around the motor, or using a conventional humidity cabinet or a fog chamber.

If totally enclosed machines are to be tested, end bells or the covers of terminal boxes should be removed, or openings should be provided in the enclosures for the moisture exposure.

#### **9.4.3 Voltage withstand test**

In order to check the condition of the test specimens and determine when the end of test life has been reached, power-frequency voltage is applied after each successive exposure to moisture. Typical test voltages to be used are shown in Table 4 with their related test guidelines in 6.4. The diagnostic voltage test is carried out throughout the thermal ageing sub-cycle.

The motors should be started and run immediately after the moisture test while the windings are still wet. For machines that have to be reassembled prior to running, a power-frequency high potential test should be applied at the highest rated voltage from windings to frame for 10 min while wet before assembly. During at least part of the thermal ageing subcycle the motors are to be run at their highest rated nameplate voltage. A power source earthed through a current limiting impedance should be used and the motor frame should be earthed so that voltage stresses are present during the entire thermal ageing portion of the cycle. A detection circuit for current to frame should be used to detect when insulation to the frame has failed. The end point of the motor life in these tests is fixed by the electrical failure of its winding insulation, under a rated applied voltage. Indiscriminate starting in either direction of the rotation of a single-phase motor can indicate failure of the starting winding.

It is suggested that surge protectors be included in the test circuit to eliminate unintended high-voltage spikes.

#### **9.4.4 Other diagnostic tests**

Other diagnostic tests may be performed according to 6.5.

The motors may be given a repeated surge comparison test applied to each winding or phase of the motor in sequence. Since surge tests also stress frame insulation, no voltage shall be used which is higher than the crest of the frame test voltage specified in IEC 60034-1.

## **9.5 Analyzing, reporting and classification**

The procedures given in Clause 7 shall be followed.

## **10 Procedure 3: Test procedure for stator windings in slots**

### **10.1 General**

#### **10.1.1 Test object definition**

Test objects may be actual machines, machine components or models. This procedure, using windings assembled in the slots of a stator as test objects, shall be referred to as IEC 60034-18-21, Procedure 3.

#### **10.1.2 Test procedures**

This thermal endurance test procedure consists of several cycles. Each cycle consists of:

- a thermal ageing sub-cycle;
- a diagnostic sub-cycle which includes a mechanical test, a moisture test and a voltage test, performed in that order.

### **10.2 Test objects**

#### **10.2.1 Construction of test objects**

Test objects are actual windings or parts of actual windings in actual stators.

Each test object may contain several individual test specimens.

A test specimen shall contain features for testing turn insulation, coil-to-coil insulation and coil-to-frame insulation.

The test objects shall be manufactured using the normal or intended manufacturing process.

#### **10.2.2 Number of test specimens**

At each ageing temperature, at least ten specimens in a minimum of two test objects should be tested at each ageing temperature for each insulation system.

#### **10.2.3 Quality assurance tests**

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

- visual inspection of the test objects;
- voltage tests according to IEC 60034-1.

#### **10.2.4 Initial diagnostic tests**

Each completed test object shall be subjected to the diagnostic tests in Clause 6 before starting the first thermal ageing sub-cycle.

### **10.3 Thermal ageing sub-cycle**

#### **10.3.1 Ageing temperatures and sub-cycle lengths**

The procedures given in 5.2 shall be followed.

### **10.3.2 Means of heating**

Ageing ovens according to 5.3, or internal resistance heating may be used where applicable.

### **10.3.3 Ageing procedure**

When ovens are used, the test objects shall be loaded directly into the hot ageing oven at the beginning of the ageing sub-cycle, and removed from the oven directly to room temperature air at the end of the sub-cycle, or cooled with equivalent effects.

The location of the test objects within the oven should be randomized, if feasible. See 8.3.3.

## **10.4 Diagnostic sub-cycle**

### **10.4.1 Mechanical conditioning**

The test objects are cooled to room temperature before testing.

The method for producing mechanical stresses shall be described in the test report. A shake table may be used. Mechanical stresses shall be at least as great as the highest service stresses in magnitude, and of the same character. Mechanical stresses shall be applied for at least 1 000 vibration cycles at transient stress magnitude.

NOTE 1 An overcurrent test may be used to produce electrodynamic forces at least as great as the forces arising when the motor rotation is reversed.

NOTE 2 Keep in mind, that the highest transient service stress magnitude is often related to a specific application. This test may not be used for mechanical qualification of systems.

### **10.4.2 Moisture conditioning**

A moisture conditioning of at least 48 h duration shall be performed according to 3.5.2. Visible moisture droplets, without puddles, are to be present on the windings during the moisture test. The test objects shall be at approximately room temperature, in the 15 °C to 35 °C range. The actual test object temperature shall be reported. No voltage is applied to the test specimens during this test. The preferred equipment for applying moisture is described in Clause C.1 of Annex C.

### **10.4.3 Voltage withstand test**

In order to check the condition of the test specimens and determine when the end of test life has been reached, voltage is applied after each successive exposure to moisture, as follows.

Test voltages should be selected from Table 4. Other test voltages may be used for end-point determination based on test experience as long as these voltages are maintained consistently for both the reference and candidate systems. Deviations from values given in Table 4 shall be reported.

A test voltage of 10 min duration is applied in sequence between turns, between coils, and from all coils to frame. The voltage shall be applied while the specimens are still wet from exposure, preferably while still in the humidity chamber, at approximately room temperature. It is suggested that surge protectors be included in the test circuit to eliminate unintended high-voltage spikes.

### **10.4.4 Other diagnostic tests**

Other diagnostic tests may be performed according to 6.5.

## **10.5 Analyzing, reporting and classification**

The procedures given in Clause 7 shall be followed.

## **11 Procedure 4: Test procedure for pole windings**

### **11.1 General**

#### **11.1.1 Test object definition**

Test objects may be actual machines, machine components or models. This procedure using pole windings as test objects, shall be referred to as IEC 60034-18-21, Procedure 4.

#### **11.1.2 Test procedures**

This thermal endurance test procedure consists of several cycles. Each cycle consists of:

- a thermal ageing sub-cycle;
- a diagnostic sub-cycle, which includes a mechanical test, a moisture test and a voltage test, performed in that order.

### **11.2 Test objects**

#### **11.2.1 Construction of test objects**

The test object used in this procedure models the insulation system of field coils mounted on a pole. It shall be made to embody all of the essential elements and should be as nearly as possible representative of the complete winding insulation system.

An example of a model coil assembly for the purpose of testing random-wound stator field coil insulation is described in Annex B. Pole pieces taken from production may be used if desired and can be necessary in some cases if the stresses developed in the coil-pole assembly produce deflections of the formed-shell pole. Such movement would introduce inappropriate variations from actual service conditions.

#### **11.2.2 Number of test objects**

At least 10 test objects shall be tested at each ageing temperature for each insulation system.

#### **11.2.3 Quality assurance tests**

Before the first thermal ageing sub-cycle is started, the following initial tests shall be performed:

- visual inspection of the test objects;
- voltage tests according to IEC 60034-1.

#### **11.2.4 Initial diagnostic tests**

Each completed test object shall be subjected to the diagnostic tests of Clause 6, before starting the first thermal ageing sub-cycle.

### **11.3 Thermal ageing sub-cycle**

#### **11.3.1 Ageing temperatures and sub-cycle lengths**

The procedures given in 5.2 shall be followed.

#### **11.3.2 Means of heating**

Ageing ovens according to 5.3 shall be used.



### 11.3.3 Ageing procedure

The test objects shall be loaded directly into the hot ageing oven at the beginning of the ageing sub-cycle, and removed from the oven directly to room temperature air at the end of the sub-cycle.

The location of the test objects within the oven should be randomized if feasible. See 8.3.3.

## 11.4 Diagnostic sub-cycle

### 11.4.1 Mechanical conditioning

Following each sub-cycle of thermal ageing and after cooling to room temperature, each test specimen shall be subjected to mechanical stress.

It is recommended that the mechanical stresses applied be of the same general nature as would be experienced in service, and of a severity comparable with the highest stresses expected in normal service.

The standard test for stator coils is the shake table test in accordance with 3.5.1. The test objects should be so mounted that the motion occurs at right angles to the plane of each of the conductor turns so that the coil ends are excited to vibrate as they would under radial end-winding forces in an actual machine. This vibration test should be made at room temperature and without applied voltage. The specimens shall be excited to vibrate for a period of 1 h. The preferred amplitude of the vibration corresponds to an acceleration of 1,5 *g* (15 m/s<sup>2</sup>) corresponding to vibration peak-to-peak amplitude of 0,3 mm at 50 Hz or 0,2 mm at 60 Hz. If the general principle as given above requires a larger amplitude, it shall be used and reported.

If some other method, following the general principle given above, is used, it shall be reported in detail and justified. For example, salient-pole rotor coils might be rotated to reproduce the centrifugal stresses encountered in service.

### 11.4.2 Moisture conditioning

A moisture conditioning of at least 48 h duration shall be performed. Visible moisture droplets, without puddles, shall be present on the windings during the moisture test. The test objects shall be at room temperature, in the 15 °C to 35 °C range. The test object temperature shall be reported. See Annex C.

### 11.4.3 Voltage withstand test

In order to check the condition of the test specimens and determine when the end of test life has been reached, power-frequency voltage shall be applied after each exposure to moisture.

Typical test voltages are given in Table 4.

Other test voltages may be used for end-point determination based on test experience as long as the voltages are maintained consistently for both the reference and candidate systems. Deviations from values given above shall be reported.

A test voltage of 10 min duration is applied in sequence between turns, between coils if appropriate, and from all coils to frame. The voltage shall be applied while the specimens are still wet from exposure, preferably while still in the humidity chamber at approximately room temperature. It is suggested that surge protectors be included in the test circuit to eliminate unintended high-voltage spikes.



#### **11.4.4 Other diagnostic tests**

Other diagnostic tests may be performed according to 6.5.

#### **11.5 Analyzing, reporting and classification**

The procedures given in Clause 7 shall be followed.

### **12 Procedure 5: Test procedure for rotor windings in slots**

#### **12.1 General**

##### **12.1.1 Test object definition**

Test objects may be actual machines, machine components or models. This procedure, using coils of windings assembled in the slots of a rotor as test objects, shall be referred to as IEC 60034-18-21, Procedure 5.

##### **12.1.2 Test procedures**

This thermal endurance test procedure consists of several cycles. Each cycle consists of:

- a thermal ageing sub-cycle;
- a diagnostic sub-cycle, which includes a mechanical test, a moisture test and a voltage test, performed in that order.

#### **12.2 Test objects**

##### **12.2.1 Construction of test objects**

For wire-wound armatures (rotors of d.c. machines), experience has shown that the test object most suitably incorporating the desired characteristics of the wound rotor for the evaluation of insulation systems is the rotor itself. Therefore, test objects are actual windings or parts of windings assembled in rotor slots.

Normal armature manufacturing procedures should be followed for placement of insulations, coil winding and resin or varnish treatment during construction of the test object. Connections should be made to permit a) turn to turn, b) coil to coil and c) coil to frame dielectric proof tests or insulation condition measurements, generally in that sequence, so as to maximize the data to be obtained. For this purpose the connection arrangement may differ from normal practice. For commutator machines, one suggested connection technique is to start and terminate each coil at the same commutator segment. This produces a winding which is not operative as a machine but coils are isolated to permit measurements. Other connection arrangements may be used to isolate turns or coils so as to satisfy the test objectives. The test connection arrangements used shall be reported.

Commutator design and materials are important considerations for the test object. The objective of the test may be the evaluation of the armature winding insulation only and therefore it may be preferred to exclude the effects of the commutator. The rationale for doing so can be differences in the cooling arrangements and therefore in the temperature rises of the winding and of the commutator. The thermal capability of the materials selected for the winding and commutator can therefore be different. For this situation, a fixture may be used that replaces the commutator for the required coil terminations and measurements.

Should the test objective be an evaluation of the winding and commutator as an assembly, some modifications at the commutator will usually be required, particularly on small test objects, to ensure valid measurements and useful data. Exposure of bare copper and the short distances between segments, and from segments to connections or to frame, which are inherent in the commutator design and function, can result in flashover or undue burning of insulations during overvoltage testing. To alleviate this condition, excess moisture on the

commutator from humidification may be removed by carefully directed forced air or wiping prior to application of voltage. Enclosure of the commutator surface and bare connections can also be required.

### **12.2.2 Number of test specimens**

At least 10 test specimens of each insulation system should be tested at each ageing temperature. A rotor may be wound to incorporate more than one insulation system, each adequately identified and isolated. Preferably, several rotors each containing a different insulation system should be wound for test at each ageing temperature.

### **12.2.3 Quality assurance tests**

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

- visual inspection of the test objects;
- voltage tests according to IEC 60034-1.

### **12.2.4 Initial diagnostic tests**

Each completed test object shall be subjected to the diagnostic tests of 8.4, before starting the first thermal ageing sub-cycle.

## **12.3 Thermal ageing sub-cycle**

### **12.3.1 Ageing temperatures and sub-cycle lengths**

The procedures given in 5.2 shall be followed.

### **12.3.2 Ageing means**

Ageing ovens according to 5.3 shall be used.

### **12.3.3 Ageing procedure**

The test objects shall be loaded directly into the hot oven at the beginning of the ageing sub-cycle, and removed from the oven directly to room temperature air at the end of the sub-cycle.

The location of the test objects within the oven should be randomized, if feasible. See 8.3.3.

## **12.4 Diagnostic sub-cycle**

### **12.4.1 Mechanical conditioning**

Mechanical stress is applied to the rotor test fixtures by spinning the rotors mechanically reproducing the centrifugal loading of service, or by reversal in the duty cycle for actual machines or by vibration tests of 1 h duration. The actual procedure used shall be reported.

It is recommended that these stresses be of a severity comparable with the highest stresses expected in normal service.

### **12.4.2 Moisture conditioning**

Moisture conditioning shall be performed for at least 48 h. Visible moisture droplets, without puddles, shall be present on the windings during the moisture test. The test objects shall be at approximately room temperature, in the 15 °C to 35 °C range. The actual test object temperature shall be reported. See Annex C.

### 12.4.3 Voltage test

#### a) Rotors of d.c. machines

In order to check the condition of the test specimens and determine when the end of test life has been reached, voltage is applied after each successive exposure to moisture, as given in Table 4.

Other test voltages may be used for end-point determination based on test experience as long as this voltage is maintained consistently for both the reference and candidate systems. Deviations from values given above shall be reported.

A test voltage of 10 min duration is applied in sequence between turns, between coils, and from all coils to frame. The voltage should be applied while the specimens are still wet from exposure, preferably while still in the humidity chamber at approximately room temperature. It is suggested that surge protectors be included in the test circuit to eliminate unintended voltage spikes.

#### b) Rotors of a.c. machines

Procedures for voltage tests and test values for rotors of a.c. machines are yet to be determined.

### 12.4.4 Other diagnostic tests

Other diagnostic tests may be performed according to 6.5.

## 12.5 Analyzing, reporting and classification

The procedures given in Clause 7 shall be performed.

## **Annex A** (informative)

### **Motorette construction (examples)**

#### **A.1 General information**

##### **A.1.1 Materials**

- metal parts (other than conductors): stainless steel;
- insulators: ceramic or other high-temperature-resistant material;
- coils and insulation: as used or contemplated to be used in actual production.

##### **A.1.2 Dimensions**

The dimensions of the test specimens should approximate to the sizes used in production. Creepage distances, insulation thickness and air spaces should be the same or smaller than used in actual production.

##### **A.1.3 Construction**

Two coils mounted in the same pair of slots are the essential part of the motorette. The slots are formed of stainless steel plates in an appropriate manner and fixed on the base of the motorette. Four insulators are also fixed on the base. See Figure A.2 for the principles used in the motorette construction.

The coils are wound with two wires in parallel. The number of turns should give the same fill factor in the slot as found in actual production.

The two coils are connected to the insulators so as to facilitate testing coils to frame, coil to coil and conductor to conductor.

Motorettes are not capable of simulating the influence of manufacturing processes such as winding insertion techniques. Consequently, the influence of the manufacturing processes will be minimal. Motorettes may be assembled by hand using simple facilities.

Motorettes are useful in evaluating the compatibility of the materials being used in a candidate insulation system.

#### **A.2 Detailed motorette construction (example)**

In a laboratory where modifications to a prescribed motorette assembly can be made to improve or more conveniently achieve a test objective, the detailed information in this Annex may be unnecessary. However, if extensive experience in insulation evaluation is unavailable or if any attempt is made to compare test data between laboratories, the motorette construction described here is to be followed meticulously. Experience has shown that only the greatest care in the design and preparation of a motorette will result in specimens which can be tested in different laboratories with results that are comparable.

A motorette design which has been adopted and used for many years in many different laboratories, and which has yielded consistent results, is shown as follows:

- Figure A.1: All the components of a motorette before assembly, including the electrical insulation materials, winding wire and metal parts.
- Figure A.2: A complete motorette.

– Figure A.3: The metal parts of the motorette frame and base prior to assembly.

The finished motorette consists of a rigid supporting metal base with four suitable stand-off insulators of porcelain or other appropriate material bolted to one end and with two slots, formed by an inner and outer sheet, bolted to the other end. The supporting base has holes for mounting the motorette during vibration testing. The slot sections are fabricated from stainless steel sheets. The assembled slot portion contains two coils insulated from the frame by slot insulation, insulated from each other by phase insulation and held in place by slot wedges. These components are typical parts as used in actual motors. The coils are each wound with parallel wires so that conductor-to-conductor electrical tests can be made. They can be machine-wound on pins or forms, as in ordinary shop practice. When appropriate, the construction and processing procedures may be modified to simulate the intended use. The following is a detailed description of the preparation of motorettes. It is presented as an example for construction for the purpose of this standard.

a) Motorette components

- 1) Wire – 1,12 mm winding wire, heavy-film coated, grade 2.
- 2) Slot insulation – 0,25 mm insulation sheet slit into rolls 70 mm in width. The material should be folded back 3,2 mm on each side making a final width of 64 mm. This allows 4,8 mm to project from each end of the slot.
- 3) Phase insulation – Two strips of 0,25 mm thick insulation sheet 13 mm by 75 mm and one circular piece 64 mm in diameter with a hole 38 mm in diameter in the centre. This allows 6,4 mm overlap on the rectangular pieces.
- 4) Slot wedges – The wedges, cut from preformed U-shaped stock, should be 9,5 mm wide at the base and 76 mm long. One end of the wedge should be rounded to ensure easy passage through the slot.
- 5) Sleeving – Insulating sleeving of sufficient size to go over the leads and of sufficient length to cover the leads from the centre of the slot portion of the coil to the terminal.
- 6) Tie cord – Sufficient length to tie coil and leads together.
- 7) Winding tape – Electrical grade tape 13 mm wide.
- 8) Electrical insulating varnish or resin. Covered by IEC 60455 or IEC 60464.

All of the materials listed above are components of the candidate or reference insulation system.

b) Assembly of the motorettes

- 1) Winding coils – Each coil should be wound tightly on a form of approximately oval shape with parallel sides extending 64 mm. The parallel sides are separated by 44 mm. The round ends of the oval are semicircles 44 mm in diameter. Each coil is composed of 20 turns of wire wound two in hand (40 wires). Since there are two coils in each slot, this means each slot has 80 wires. The unconnected ends are prepared by cutting off one end of each of the bifilar wires, leaving 5 mm length from the coil near the middle of one of the semicircles. The 5 mm length is taped into place by means of the winding tape. The two unconnected ends are separated by a minimum of 5 mm. The other conductor ends are brought out from each of the straight portions of the coil and a piece of sleeving is placed over each of these leads. The lead and sleeving are tied in place with the tie cord. This is illustrated in Figure A.1.
- 2) Cleaning and assembly of stainless metal parts – Before assembly each metal component of the motorette is immersed in a solvent composed of equal parts of toluene and denaturated alcohol for at least 30 min. Each part is removed from the solvent, rinsed with fresh solvent, and wiped with a lint-free cloth. The motorette metal parts are carefully assembled ensuring that the slot portions are equal in width and the sides parallel. A simple procedure for this is to cut two wooden blocks equal in width to the slot portion and to centre the slot by placing the blocks in the slot portion prior to tightening the slot hold-down bolts.
- 3) Inserting slot insulation – The slot insulation is cut from the strip in the form of a 64 mm square and bent to fit the slot. This allows the sheet insulation to be folded

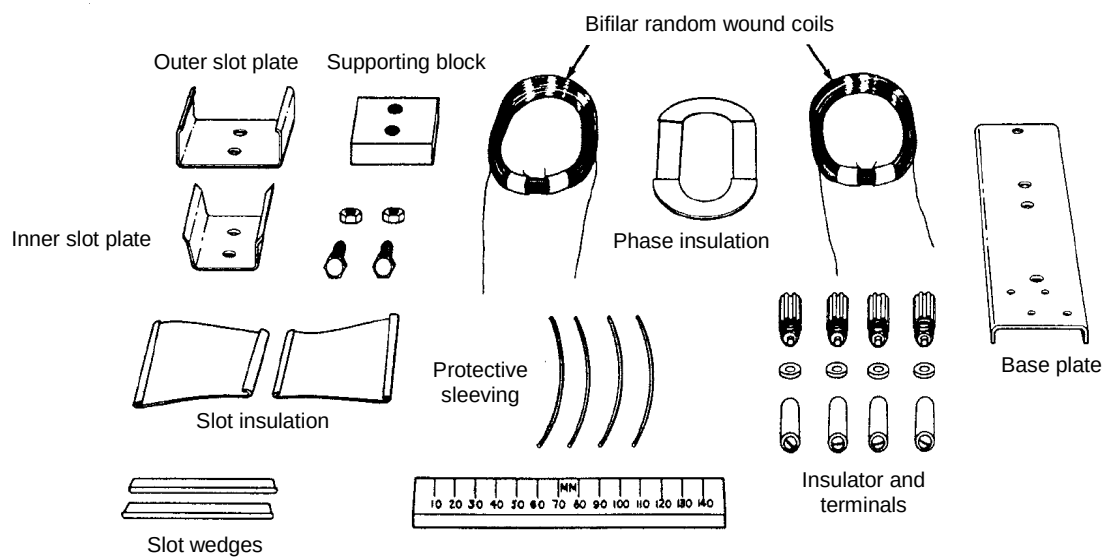
under the wedge and project 5 mm from each end of the slot. The slot insulation is inserted in the slot portion with extreme care so that an equal amount extends beyond each end of the slot.

- 4) Inserting the coils – The slot insulation is folded back over the simulated tooth tip at the top of the slot to ensure that the winding wire is not abraded when placed into the slot. The bottom coil is inserted into the slot with the unconnected conductor ends down and the leads at the top of the coil. After the bottom coil is in place, the phase insulation is inserted, and care is taken to ensure that the phase insulation within the slot completely covers the bottom coil. If the phase insulation within the slot is too large, the edges are folded upward towards the top of the slot. The phase insulation is sized and located to ensure uniform extension over all parts of the bottom coil. The bottom coil ends are kept flat to avoid damaging the edges of the slot insulation. The top coil is inserted in the same manner as the bottom coil, but with the unconnected conductor ends up and the leads down. The top coil is adjusted to maintain the same border as the bottom coil ensuring that the wires of the top coil do not slip around the phase insulation.
- 5) Connecting the leads – The leads are carefully measured to terminate at the insulators. The last 13 mm of the lead are stripped of enamel and tinned at the end with solder before connection to the insulated terminals. The leads of the bottom coil are connected to the inside insulators and those of the top coil to the outside insulators. With the coils inserted the ends of the slot insulation are lapped over the coil and the wedge inserted on the top of the slot insulation.
- 6) Electrical tests – The coils are checked for insulation resistance if desired and given a voltage check as recommended in 8.4.3. If found to pass this test, the motorette is then treated with electrical insulating varnish or resin.
- 7) Varnish or resin treatment – The varnish or resin treatment shall be performed using the same impregnating material as in actual production, following the production process as closely as possible.
- 8) Mounting the motorettes – Ten motorettes are bolted to a rack made of rigid aluminium, approximately 13 mm thick. The rack should be constructed with large openings between the motorettes so that air circulation is not impeded. The rack is sized to fit the ovens and humidity chamber and is capable of being bolted to the vibration table.

### A.3 Circuit-breakers for voltage tests

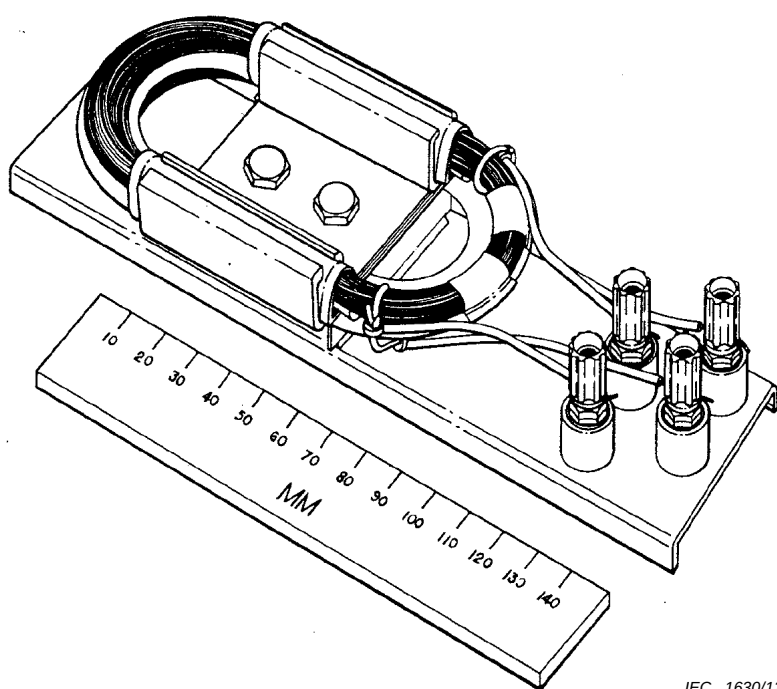
Pre-calibrated electromechanical overcurrent circuit-breakers have been used successfully, with trip times of 2 s to 3 s and with the following trip currents:

- wire-to-wire                    0,75 A;
- coil-to-coil                    0,50 A;
- coil-to-frame                   0,50 A.



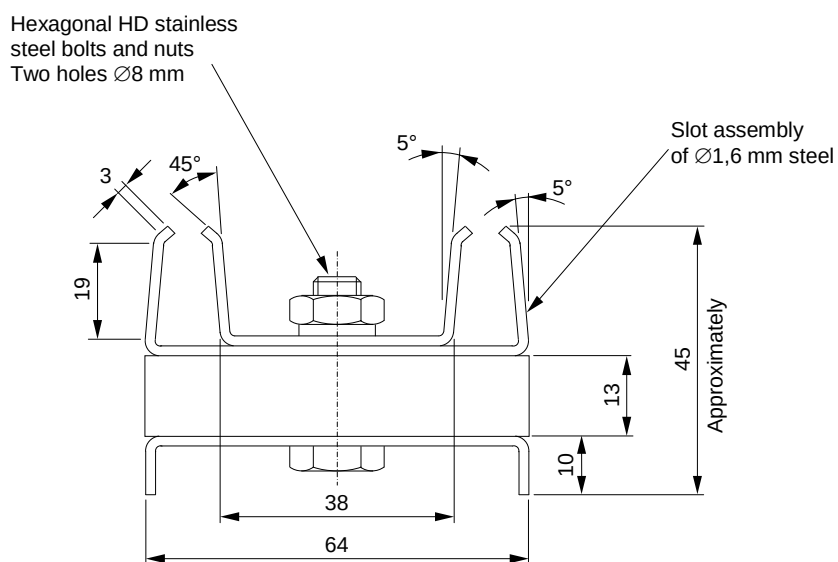
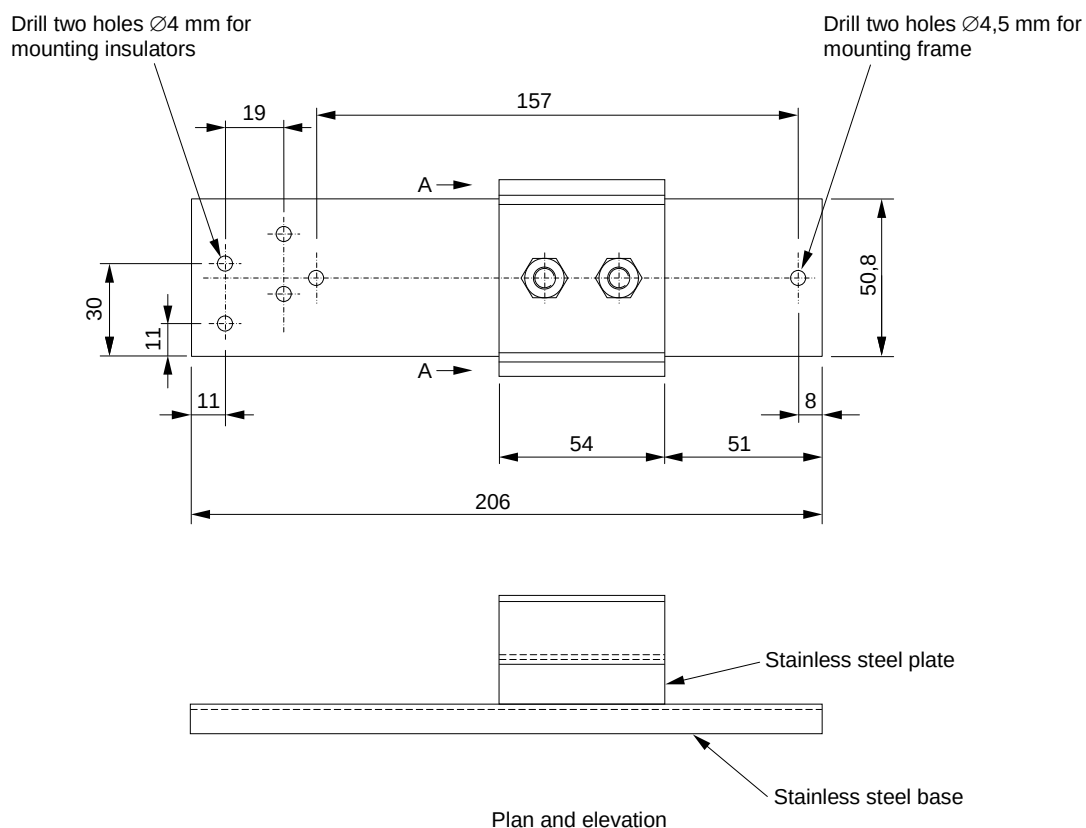
IEC 1629/12

**Figure A.1 – Components of motorette before final assembly**



IEC 1630/12

**Figure A.2 – Completely assembled and varnished motorette**



Remove all burrs and grind all edges smooth

IEC 1631/12

Dimensions in millimetres

**Figure A.3 – Manufacturing drawing of motorette frame**



## **Annex B** (informative)

### **Models for windings on poles (examples)**

#### **B.1 Test fixture for random wire-wound field coils for d.c. machines**

Details of the construction of a test fixture for the evaluation of the insulation system of a random-wound field coil are shown, as an example only, in Figures B.1 to B.4. The detailed information can be unnecessary for a laboratory developing its own test objects. However, for laboratories without extensive testing experience, or if comparisons are to be made between laboratories, the minute details shall be observed and followed meticulously. Modifications of dimensions or of design may be made to allow manufacturers to simulate more closely their own field coil structures or designs.

The coil should be a typical field coil differing from a standard production type coil only in that it is wound with two wires in parallel to permit making conductor-to-conductor electrical tests simulating turn-to-turn measurements. The coils should be wound according to standard shop practice, except with the two wires in parallel, taking care to prevent damage to the wire insulation. Insulation of the coil to frame should be made by the shop techniques intended for the insulation being tested. Leads suitable for ageing and compatible with the coil insulations may be affixed to the coil ends as in normal practice, and the lead ends connected to the terminals mounted on the frame plate with all connections suitably protected, or the coil ends may be brought out for direct connection to the terminals, these coil ends being protected with sleeving.

It should be appreciated that the test specimens are models on which it can be impossible to simulate the influence of manufacturing processes (e.g. direct winding).

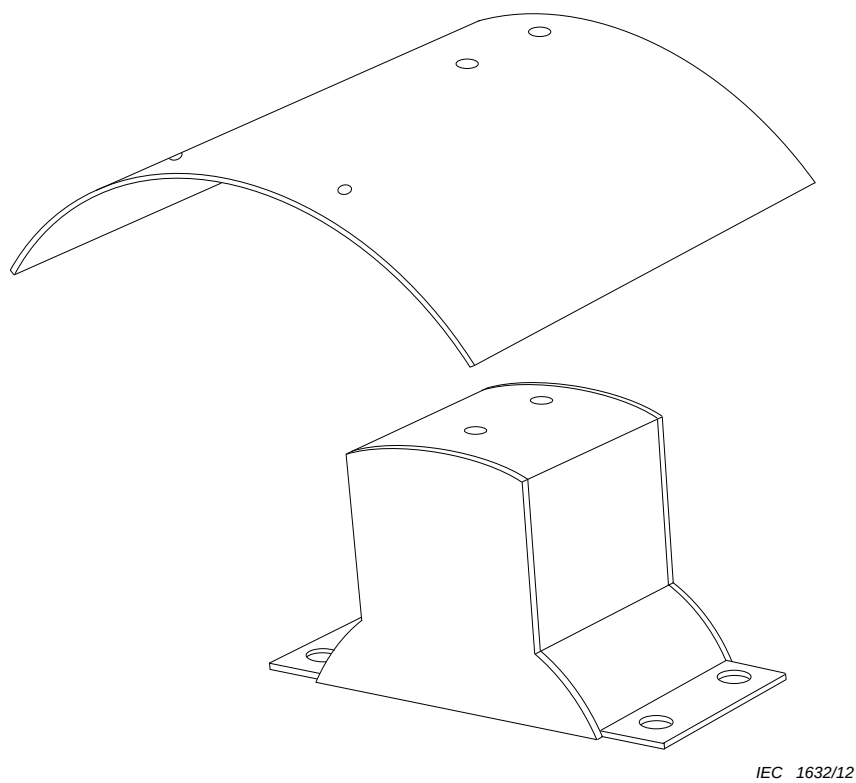
#### **B.2 Test fixture for precision wire-wound field coils for d.c. machines**

Details of the construction of a test fixture for the evaluation of the insulation system of a layer-wound field coil are shown, as an example only, in Figures B.5 to B.8. Modifications of dimensions or design may be made to allow manufacturers to simulate more closely their own field coil structures or designs.

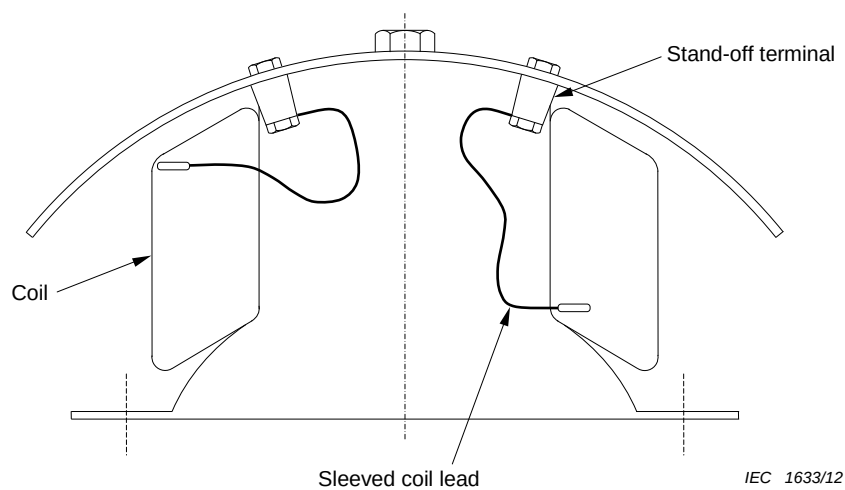
Actual poles may be used, if convenient, and can be desirable if techniques for holding the coils to poles depend on the rigidity of the pole structure. Heavier steel may also be used for the frame plate for similar reasons.

The detailed information will be useful to laboratories without extensive experience in insulation evaluation or where data are to be compared between laboratories.

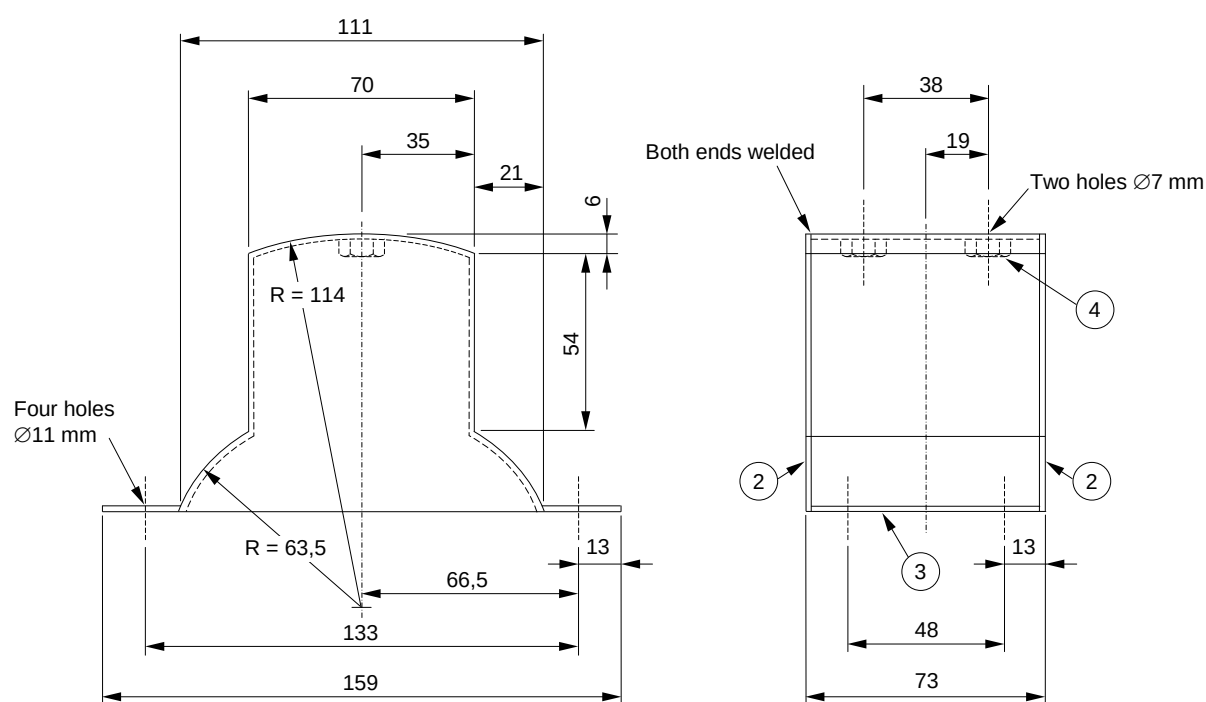
The coil should be wound as in usual manufacturing practice except that it should be wound with two wires in parallel to permit conductor-to-conductor checking simulating turn-to-turn measurements. Insulation of the coil to frame including varnish treatment should follow regular manufacturing procedures and may be different for each manufacturer. Insulated leads may be affixed to the coil ends, or the coil ends may be brought out, protected by sleeving, for connection to stand-off insulators mounted on the frame plate. If leads are used, careful selection should be made so that they are capable of withstanding the thermal exposure of the test without degradation or without harming adjacent components. Connection of coil to lead should also be suitably protected so that the coil insulation is the factor being evaluated, not the associated components. The mounting of the coil on the pole should follow the intended manufacturing procedure for the insulation system being tested.



**Figure B.1 – Test fixture for random wire-wound field coil**



**Figure B.2 – Random wire-wound field coil mounted on the test fixture**



② ③ Material 1,6 mm thick

④  $6 \times 1$  hexagonal steel (two required) projection weld nuts to ③

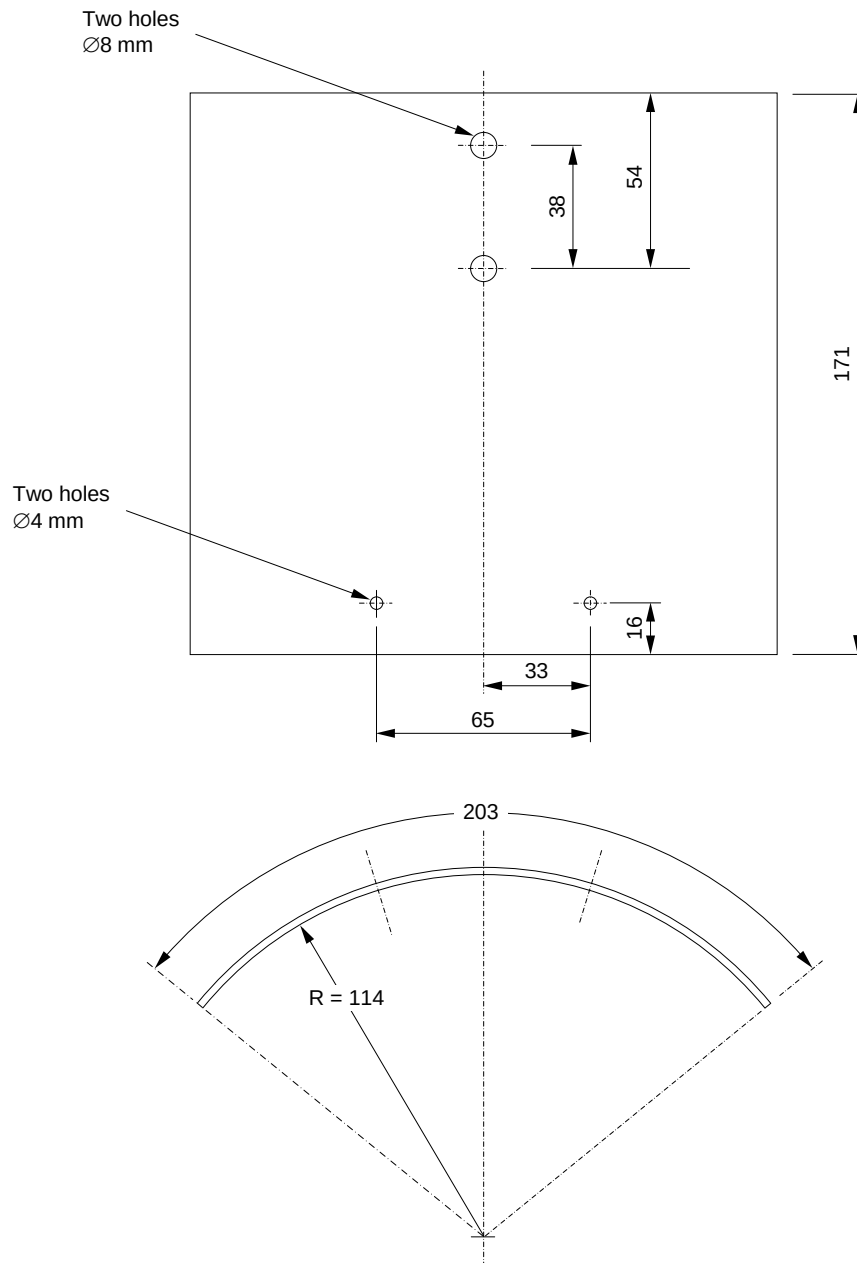
IEC 1634/12

*Dimensions in millimetres*

Deburr and remove scale for finish

Cadmium or zinc plate all over final assembly

**Figure B.3 – Manufacturing drawing for simulating pole  
for random wire-wound field coil test fixture**



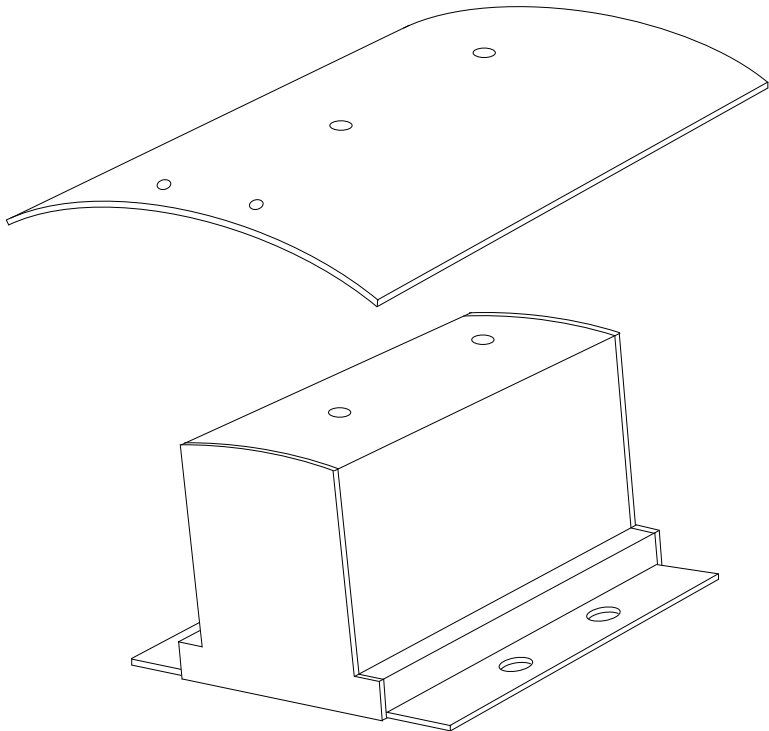
IEC 1635/12

*Dimensions in millimetres*

Deburr and remove scale for finish

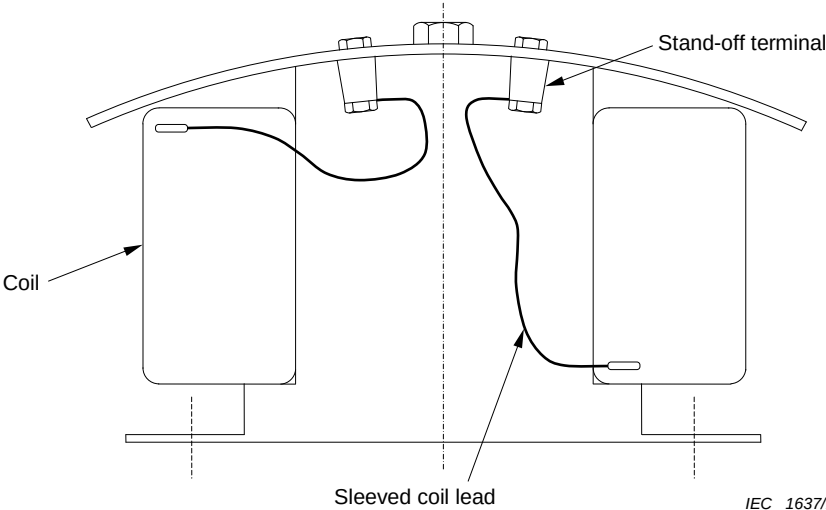
Cadmium or zinc plate all over final assembly

**Figure B.4 – Manufacturing drawing for simulated frame  
for random wire-wound field coil test fixture**



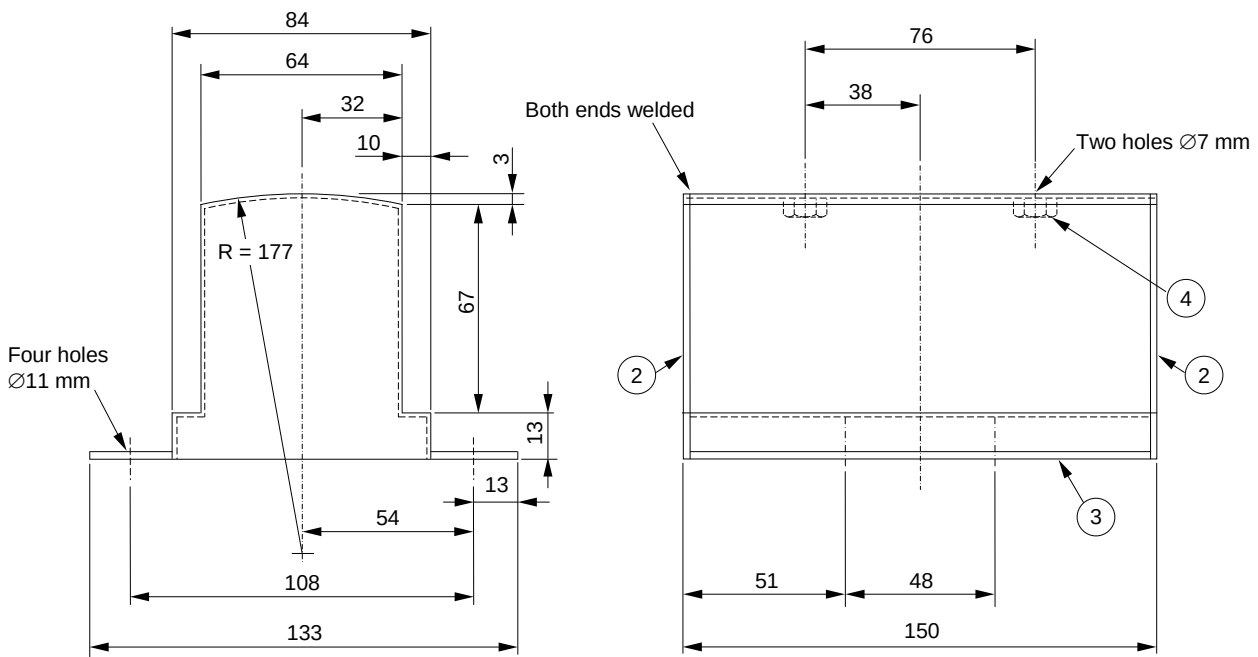
IEC 1636/12

Figure B.5 – Test fixture for precision wire-wound field coil



IEC 1637/12

Figure B.6 – Precision wire-wound field coil mounted on the test fixture



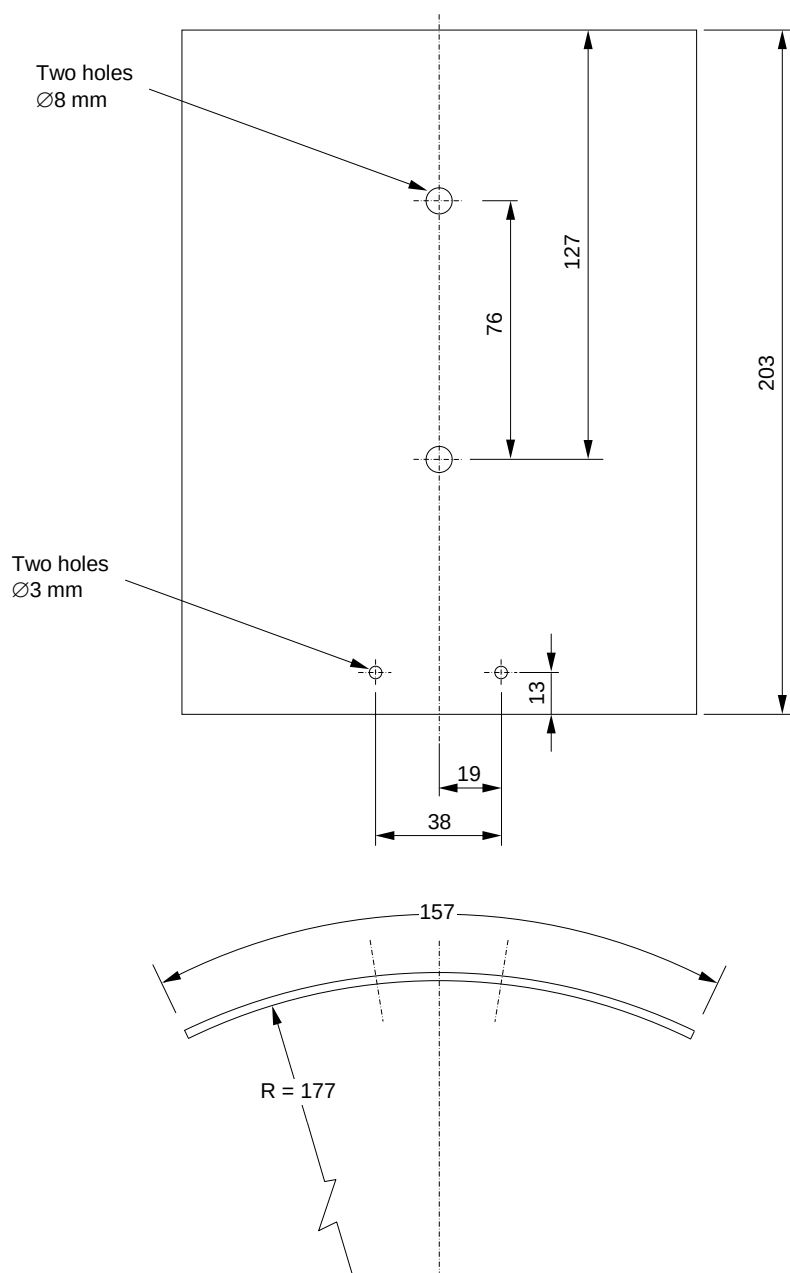
IEC 1638/12

*Dimensions en millimètres*

Deburr and remove scale for finish

Cadmium or zinc plate all over final assembly

**Figure B.7 – Manufacturing drawing for simulated pole  
for precision wire-wound field coil test fixture**



IEC 1639/12

*Dimensions en millimètres*

Deburr and remove scale for finish

Cadmium or zinc plate all over final assembly

**Figure B.8 – Manufacturing drawing for simulated frame  
for precision wire-wound**

## Annex C (informative)

### Equipment for moisture tests

#### C.1 Condensation test chamber

An atmosphere of 100 % relative humidity with condensation is readily obtained by placing on the floor of the test chamber a shallow tray of water containing an immersion heat exchanger to heat the water to a temperature 5 K to 10 K above room temperature. The roof of the test chamber should not be insulated and should be sloped so as to prevent dripping on the test objects. The interior of the chamber should be constructed of corrosion-resistant materials, and junctions of dissimilar metals should be avoided. Doors or removable covers should be constructed with overhanging lips so that moisture collecting around them will drain into the interior of the chamber.

#### C.2 Condensation test chamber with cooled test objects

The base of each test object should be mounted on a body that is colder than its surrounding atmosphere to ensure that the insulation system is at a lower temperature than the dew point of the atmosphere. Figure C.1 is a schematic diagram illustrating the basic principle employed. The test object rack in its drawer as shown in Figure C.2 is cooled by means of a circulating coolant (water). The coolant is thermostatically controlled to maintain a specified temperature differential between the test objects and the surrounding air in the chamber. This ensures condensation on the test specimens. This differential is independent of room ambient temperature variations. Since both the heated water-bath and the coolant are thermostatically controlled, this independence is limited only by the capacity of the system.

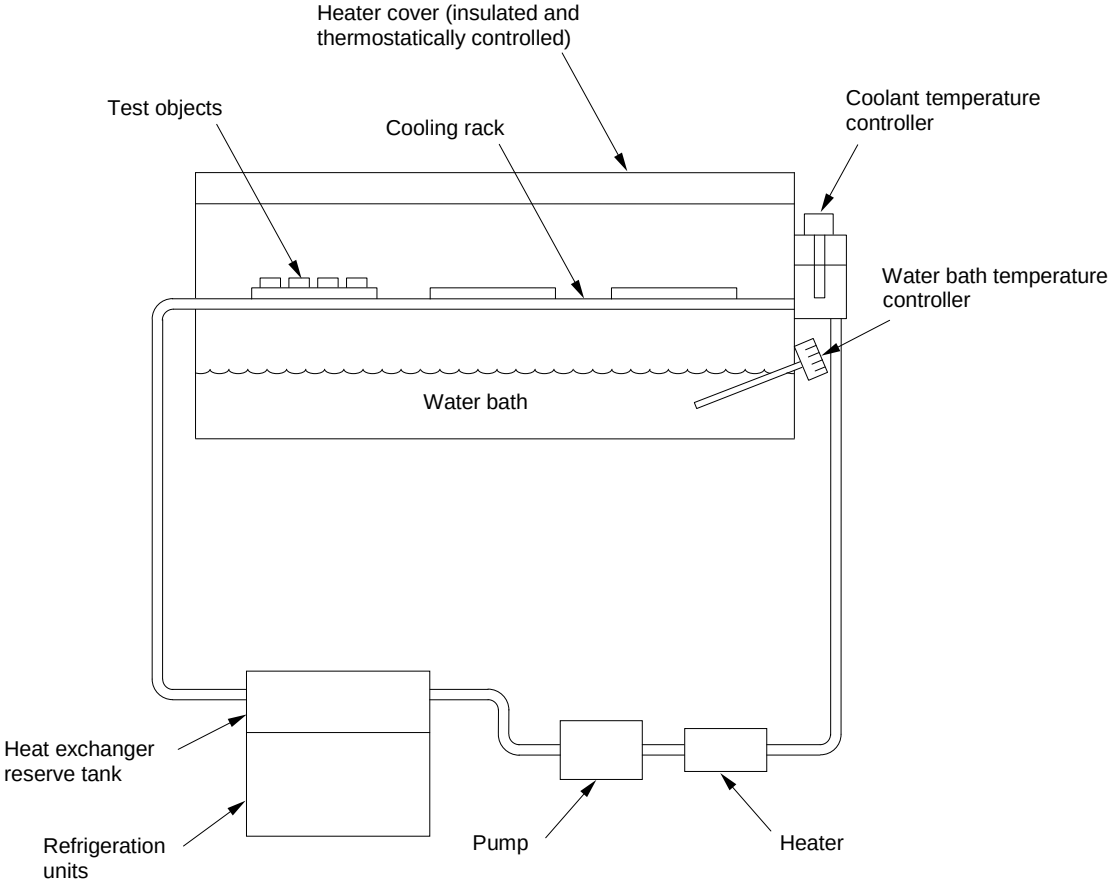
Temperature control is not lost in the event that room temperature rises above that of the water-bath. The heat lost to the cooled rack keeps the water within the control of the heater, thus allowing the balance of temperatures to be maintained. If room temperature should fall below the temperature of the cooling rack, control is preserved by the heat supply of the water-bath heater. In contrast to a conventional plus-dew chamber, this balancing effect between the heating and cooling system eliminates the necessity for the chamber to be in a temperature-controlled room. The interior of the chamber should be so designed that all test objects are located at the same distance above the water-bath and below the roof of the chamber. This is done so that each test specimen is equally influenced by such factors as radiating surfaces, air temperature, and degree of relative humidity.

Figure C.2 shows the rack of 10 motorettes placed in the drawer of a condensation chamber. After the desired moisture exposure, the specimens are connected for the voltage test to a test stand by cables which lead to the receptacles on the face of the chamber drawers.

When the test chamber is maintained at the following temperatures, uniform condensation occurs:

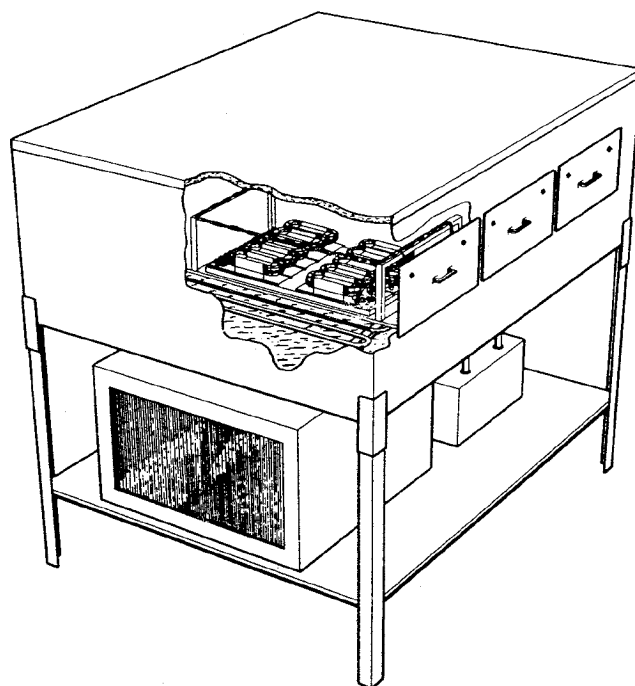
- |                                                       |                 |
|-------------------------------------------------------|-----------------|
| – water-bath temperature                              | 30 °C           |
| – test specimen temperature                           | 24 °C           |
| – chamber air temperature<br>(25 mm above motorettes) | 25 °C           |
| – centre, under the chamber roof                      | 28 °C to 29 °C. |





IEC 1640/12

**Figure C.1 – Diagram illustrating basic principle of condensation chamber with cooled test objects**



IEC 1641/12

**Figure C.2 – Cut away of condensation chamber  
with cooled test objects**

\_\_\_\_\_



## SOMMAIRE

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                        | 54 |
| INTRODUCTION.....                                                                                                         | 56 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                             | 57 |
| 2 Références normatives .....                                                                                             | 57 |
| 3 Considérations générales .....                                                                                          | 58 |
| 3.1 Système d'isolation de référence .....                                                                                | 58 |
| 3.2 Procédures d'essai .....                                                                                              | 58 |
| 4 Eprouvettes et échantillons.....                                                                                        | 58 |
| 4.1 Fabrication des éprouvettes .....                                                                                     | 58 |
| 4.2 Vérification des effets de changements mineurs dans les systèmes<br>d'isolation.....                                  | 59 |
| 4.3 Nombre d'échantillons .....                                                                                           | 59 |
| 4.4 Contrôle de la qualité .....                                                                                          | 59 |
| 4.5 Essais préliminaires de diagnostic.....                                                                               | 60 |
| 5 Procédures d'essai .....                                                                                                | 60 |
| 5.1 Principes généraux des essais de diagnostic.....                                                                      | 60 |
| 5.2 Températures de vieillissement et durées des sous-cycles .....                                                        | 60 |
| 5.3 Méthodes de chauffage .....                                                                                           | 62 |
| 5.4 Sous-cycle de vieillissement thermique .....                                                                          | 62 |
| 6 Sous-cycle de diagnostic .....                                                                                          | 63 |
| 6.1 Séquence de conditionnement.....                                                                                      | 63 |
| 6.2 Conditionnement mécanique .....                                                                                       | 63 |
| 6.3 Conditionnement d'humidité .....                                                                                      | 63 |
| 6.4 Essais de tension .....                                                                                               | 64 |
| 6.5 Autres essais de diagnostic.....                                                                                      | 64 |
| 7 Signalisation et évaluation fonctionnelle des données provenant du système<br>candidat et du système de référence ..... | 65 |
| 7.1 Généralités.....                                                                                                      | 65 |
| 7.2 Détermination de la qualification.....                                                                                | 65 |
| 7.2.1 Présentation .....                                                                                                  | 65 |
| 7.2.2 Cas A: Qualification pour la même température de classe et la même<br>durée de service attendue .....               | 66 |
| 7.2.3 Cas B: Qualification pour la même température de classe et une<br>durée de service attendue différente .....        | 67 |
| 7.2.4 Cas C: Qualification pour une température de classe différente et la<br>même durée de service attendue .....        | 68 |
| 7.2.5 Cas D: Qualification pour une température de classe différente et<br>une durée de service attendue différente ..... | 69 |
| 7.2.6 Non-linéarité des lignes de régression .....                                                                        | 70 |
| 7.2.7 Evaluation réduite.....                                                                                             | 71 |
| 8 Procédure 1: Procédure d'essai de motorette .....                                                                       | 71 |
| 8.1 Généralités.....                                                                                                      | 71 |
| 8.1.1 Définition des éprouvettes .....                                                                                    | 71 |
| 8.1.2 Procédure d'essai.....                                                                                              | 71 |
| 8.2 Eprouvettes .....                                                                                                     | 71 |
| 8.2.1 Fabrication des éprouvettes.....                                                                                    | 71 |
| 8.2.2 Nombre d'éprouvettes.....                                                                                           | 71 |

|        |                                                                                     |    |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.2.3  | Essais de vérification de la qualité.....                                           | 72 |
| 8.2.4  | Essais préliminaires de diagnostic.....                                             | 72 |
| 8.3    | Sous-cycle de vieillissement thermique.....                                         | 72 |
| 8.3.1  | Températures de vieillissement et durées des sous-cycles.....                       | 72 |
| 8.3.2  | Moyens de chauffage.....                                                            | 72 |
| 8.3.3  | Procédure de vieillissement.....                                                    | 72 |
| 8.4    | Sous-cycle de diagnostic.....                                                       | 72 |
| 8.4.1  | Généralités.....                                                                    | 72 |
| 8.4.2  | Conditionnement mécanique.....                                                      | 72 |
| 8.4.3  | Conditionnement d'humidité.....                                                     | 73 |
| 8.4.4  | Essai de tension.....                                                               | 73 |
| 8.4.5  | Autres essais de diagnostic.....                                                    | 73 |
| 8.5    | Analyse, rapport d'essai et classification.....                                     | 74 |
| 9      | Procédure 2: Procédure d'essai de moteurs.....                                      | 74 |
| 9.1    | Généralités.....                                                                    | 74 |
| 9.1.1  | Définition des éprouvettes.....                                                     | 74 |
| 9.1.2  | Procédure d'essai.....                                                              | 74 |
| 9.2    | Éprouvettes.....                                                                    | 74 |
| 9.2.1  | Fabrication des éprouvettes.....                                                    | 74 |
| 9.2.2  | Nombre d'éprouvettes.....                                                           | 74 |
| 9.2.3  | Essais de vérification de la qualité.....                                           | 75 |
| 9.2.4  | Essais préliminaires de diagnostic.....                                             | 75 |
| 9.3    | Sous-cycle de vieillissement thermique.....                                         | 75 |
| 9.3.1  | Températures de vieillissement et durées des sous-cycles.....                       | 75 |
| 9.3.2  | Moyens de chauffage.....                                                            | 75 |
| 9.3.3  | Procédure de vieillissement.....                                                    | 76 |
| 9.3.4  | Contraintes mécaniques pendant le sous-cycle de vieillissement<br>thermique.....    | 76 |
| 9.4    | Sous-cycle de diagnostic.....                                                       | 76 |
| 9.4.1  | Conditionnement mécanique.....                                                      | 76 |
| 9.4.2  | Conditionnement d'humidité.....                                                     | 76 |
| 9.4.3  | Essai de tenue en tension.....                                                      | 77 |
| 9.4.4  | Autres essais de diagnostic.....                                                    | 77 |
| 9.5    | Analyse, rapport d'essai et classification.....                                     | 77 |
| 10     | Procédure 3: Procédure d'essai pour enroulements statoriques dans des encoches..... | 78 |
| 10.1   | Généralités.....                                                                    | 78 |
| 10.1.1 | Définition des éprouvettes.....                                                     | 78 |
| 10.1.2 | Procédures d'essai.....                                                             | 78 |
| 10.2   | Éprouvettes.....                                                                    | 78 |
| 10.2.1 | Fabrication des éprouvettes.....                                                    | 78 |
| 10.2.2 | Nombre d'échantillons.....                                                          | 78 |
| 10.2.3 | Essais de vérification de la qualité.....                                           | 78 |
| 10.2.4 | Essais préliminaires de diagnostic.....                                             | 78 |
| 10.3   | Sous-cycle de vieillissement thermique.....                                         | 78 |
| 10.3.1 | Températures de vieillissement et durées des sous-cycles.....                       | 78 |
| 10.3.2 | Moyens de chauffage.....                                                            | 79 |
| 10.3.3 | Procédure de vieillissement.....                                                    | 79 |
| 10.4   | Sous-cycle de diagnostic.....                                                       | 79 |
| 10.4.1 | Conditionnement mécanique.....                                                      | 79 |

|                        |                                                                                    |    |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 10.4.2                 | Conditionnement d'humidité .....                                                   | 79 |
| 10.4.3                 | Essai de tenue en tension .....                                                    | 79 |
| 10.4.4                 | Autres essais de diagnostic .....                                                  | 80 |
| 10.5                   | Analyse, rapport d'essai et classification .....                                   | 80 |
| 11                     | Procédure 4: Procédure d'essai pour enroulements polaires.....                     | 80 |
| 11.1                   | Généralités.....                                                                   | 80 |
| 11.1.1                 | Définition des éprouvettes .....                                                   | 80 |
| 11.1.2                 | Procédures d'essai .....                                                           | 80 |
| 11.2                   | Éprouvettes .....                                                                  | 80 |
| 11.2.1                 | Fabrication des éprouvettes.....                                                   | 80 |
| 11.2.2                 | Nombre d'éprouvettes.....                                                          | 80 |
| 11.2.3                 | Essais de vérification de la qualité.....                                          | 80 |
| 11.2.4                 | Essais préliminaires de diagnostic .....                                           | 80 |
| 11.3                   | Sous-cycle de vieillissement thermique .....                                       | 81 |
| 11.3.1                 | Températures de vieillissement et durées des sous-cycles .....                     | 81 |
| 11.3.2                 | Moyens de chauffage .....                                                          | 81 |
| 11.3.3                 | Procédure de vieillissement.....                                                   | 81 |
| 11.4                   | Sous-cycle de diagnostic.....                                                      | 81 |
| 11.4.1                 | Conditionnement mécanique.....                                                     | 81 |
| 11.4.2                 | Conditionnement d'humidité .....                                                   | 81 |
| 11.4.3                 | Essai de tenue en tension .....                                                    | 81 |
| 11.4.4                 | Autres essais de diagnostic .....                                                  | 82 |
| 11.5                   | Analyse, rapport d'essai et classification .....                                   | 82 |
| 12                     | Procédure 5: Procédure d'essai pour enroulements rotoriques dans des encoches..... | 82 |
| 12.1                   | Généralités.....                                                                   | 82 |
| 12.1.1                 | Définition des éprouvettes .....                                                   | 82 |
| 12.1.2                 | Procédures d'essai .....                                                           | 82 |
| 12.2                   | Éprouvettes .....                                                                  | 82 |
| 12.2.1                 | Fabrication des éprouvettes.....                                                   | 82 |
| 12.2.2                 | Nombre d'échantillons .....                                                        | 83 |
| 12.2.3                 | Essais de vérification de la qualité.....                                          | 83 |
| 12.2.4                 | Essais préliminaires de diagnostic .....                                           | 83 |
| 12.3                   | Sous-cycle de vieillissement thermique .....                                       | 83 |
| 12.3.1                 | Températures de vieillissement et durées des sous-cycles .....                     | 83 |
| 12.3.2                 | Moyens de vieillissement.....                                                      | 83 |
| 12.3.3                 | Procédure de vieillissement.....                                                   | 84 |
| 12.4                   | Sous-cycle de diagnostic.....                                                      | 84 |
| 12.4.1                 | Conditionnement mécanique.....                                                     | 84 |
| 12.4.2                 | Conditionnement d'humidité .....                                                   | 84 |
| 12.4.3                 | Essai de tension .....                                                             | 84 |
| 12.4.4                 | Autres essais de diagnostic .....                                                  | 84 |
| 12.5                   | Analyse, rapport d'essai et classification .....                                   | 84 |
| Annexe A (informative) | Fabrication d'une motorette (exemples).....                                        | 85 |
| Annexe B (informative) | Modèles pour enroulements polaires (exemples).....                                 | 90 |
| Annexe C (informative) | Équipement pour les essais d'humidité.....                                         | 97 |

Figure 1 – Système candidat qualifié pour la même classe thermique et la même durée de service attendue..... 67

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 2 – Système candidat qualifié pour la même classe thermique et une durée de service prévue différente.....                           | 68 |
| Figure 3 – Système candidat qualifié pour une température de classe différente et la même durée de service attendue .....                   | 69 |
| Figure 4 – Système candidat qualifié pour une durée de service différente et une classe thermique différente de celles de la référence..... | 70 |
| Figure A.1 – Eléments constitutifs de la motorette avant assemblage final.....                                                              | 88 |
| Figure A.2 – Motorette entièrement assemblée et vernie.....                                                                                 | 88 |
| Figure A.3 – Plan de fabrication d'un châssis de motorette .....                                                                            | 89 |
| Figure B.1 – Montage d'essai pour bobine de champ à enroulement à fils jetés .....                                                          | 91 |
| Figure B.2 – Bobine de champ à enroulement à fils jetés montée sur le montage d'essai .....                                                 | 91 |
| Figure B.3 – Schéma de fabrication du pôle de simulation du montage d'essai de bobine de champ à enroulement à fils jetés .....             | 92 |
| Figure B.4 – Schéma de fabrication du châssis de simulation du montage d'essai de bobine de champ à enroulement à fils jetés .....          | 93 |
| Figure B.5 – Montage d'essai pour bobine de champ à enroulement à fils rangés .....                                                         | 94 |
| Figure B.6 – Bobine de champ à enroulement à fils rangés montée sur le montage d'essai .....                                                | 94 |
| Figure B.7 – Schéma de fabrication du pôle de simulation du montage d'essai de bobine de champ à enroulement à fils rangés .....            | 95 |
| Figure B.8 – Schéma de fabrication du châssis de simulation pour l'enroulement à fils rangés .....                                          | 96 |
| Figure C.1 – Schéma illustrant le principe élémentaire de la chambre de condensation avec les éprouvettes refroidies .....                  | 98 |
| Figure C.2 – Vue écorchée de la chambre de condensation avec les éprouvettes refroidies .....                                               | 99 |
| Tableau 1 – Classes thermiques .....                                                                                                        | 61 |
| Tableau 2 – Températures recommandées et périodes d'exposition des sous-cycles de vieillissement.....                                       | 62 |
| Tableau 3 – Conditions pour la qualification du système candidat.....                                                                       | 66 |
| Tableau 4 – Tensions d'essai.....                                                                                                           | 73 |

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

### Partie 18-21: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements à fils – Evaluation thermique et classification

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60034-18-21 a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1992, et ses amendements 1 (1994) et 2 (1996), dont elle constitue une révision technique.

La principale modification technique par rapport à l'édition précédente est l'introduction de certaines méthodes statistiques élémentaires utilisées pour l'évaluation des données comparatives. La norme présente en outre une utilisation plus simple des différentes procédures d'essai.



Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS        | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 2/1672/FDIS | 2/1682/RVD      |

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

NOTE Un tableau des correspondances de toutes les publications du CE 2 de la CEI se trouve sur le site web de la CEI, à la page d'accueil de ce comité.

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

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

**IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.**

## INTRODUCTION

La CEI 60034-18 comprend plusieurs parties, qui traitent des différents types d'évaluation fonctionnelle et de sortes particulières de procédures d'essai destinées aux systèmes d'isolation des machines électriques tournantes. La CEI 60034-18-1 donne des lignes directrices générales pour ces procédures et ces principes de qualification. Les parties suivantes, CEI 60034-18-21, CEI 60034-18-22, CEI 60034-18-31, CEI 60034-18-33, CEI 60034-18-34, CEI 60034-18-41 et CEI 60034-18-42, donnent des procédures détaillées pour les différents types d'enroulements.

La présente partie, CEI 60034-18-21, traite de l'évaluation thermique et de la classification des systèmes d'isolation des enroulements à fils (généralement bobinés en vrac).

Les parties concernant le présent document sont:

- CEI 60034-18-1: Principes directeurs généraux
- CEI 60034-18-31: Procédures d'essai pour enroulements préformés
- CEI 60034-18-41: Qualification et essais de type des systèmes d'isolation de type I utilisés dans des machines alimentées par convertisseurs de tension.
- CEI 60034-18-42: Essais de qualification et d'acceptation des systèmes d'isolation électrique résistants aux décharges partielles (Type II) utilisés dans les machines électriques tournantes alimentées par convertisseurs de tension

## MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

### Partie 18-21: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements à fils – Evaluation thermique et classification

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60034 donne des procédures d'essai pour l'évaluation thermique et la classification des systèmes d'isolation utilisés ou que l'on se propose d'utiliser dans les machines électriques tournantes à enroulements à fils à courant alternatif ou à courant continu.

La performance d'essai d'un système d'isolation candidat est comparée à la performance d'essai d'un système d'isolation de référence dont l'expérience en service a été démontrée.

La CEI 60034-18-1 décrit les principes généraux d'essai applicables aux essais d'endurance thermique des systèmes d'isolation utilisés dans les machines électriques tournantes. Les principes de la CEI 60034-18-1 sont suivis, à moins qu'il n'en soit établi différemment dans la CEI 60034-18-21.

#### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60034-1, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 60034-18-1:2010, *Machines électriques tournantes – Partie 18-1: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Principes directeurs généraux*

CEI 60085, *Isolation électrique – Evaluation et désignation thermiques*

CEI 60216-1, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 1: méthodes de vieillissement et évaluation des résultats d'essai*

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

CEI 60455 (toutes les parties), *Composés réactifs à base de résines utilisés comme isolants électriques*

CEI 60464 (toutes les parties), *Vernis utilisés pour l'isolation électrique*

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

### 3 Considérations générales

#### 3.1 Système d'isolation de référence

Un système d'isolation de référence doit être soumis à essai avec la même procédure d'essai que pour le système candidat. Voir 4.3 de la CEI 60034-18-1.

#### 3.2 Procédures d'essai

Chaque essai d'endurance thermique se compose généralement d'une série de cycles, chacun d'eux comprenant un sous-cycle de vieillissement thermique suivi d'un sous-cycle de conditionnement et d'un sous-cycle de diagnostic.

Il existe cinq procédures d'essai différentes, selon le type d'éprouvette, à savoir la procédure 1: Procédure d'essai de motorette, la procédure 2: Procédure d'essai de moteurs, la procédure 3: Procédure d'essai pour enroulements statoriques dans des encoches, la procédure 4: Procédure d'essai pour enroulements polaires et la procédure 5: Procédure d'essai pour enroulements rotoriques dans des encoches, qui sont décrites dans les Articles 8, 9, 10, 11 et 12. La procédure d'essai d'endurance thermique utilise plusieurs cycles, dont chacun comprend:

- un sous-cycle de vieillissement thermique;
- un sous-cycle de diagnostic qui comprend un conditionnement mécanique et d'humidité suivi d'un essai de tension de diagnostic, effectués dans cet ordre.

Outre les essais requis, on peut effectuer d'autres essais informatifs non destructifs.

### 4 Eprouvettes et échantillons

#### 4.1 Fabrication des éprouvettes

Il est attendu que les différents matériaux ou éléments isolants constitutifs d'un système d'isolation à évaluer avec ces procédures d'essai fassent au préalable l'objet d'une sélection au moyen des procédures de sélection de l'entreprise. On peut utiliser des indices de température pour les matériaux isolants. Cependant, on ne peut pas utiliser les indices de température des matériaux isolants pour classer les systèmes d'isolation; on doit les considérer uniquement comme des indicateurs pour les essais fonctionnels thermiques des systèmes. Pour les systèmes d'isolation électriques, voir la CEI 60085.

Si les considérations économiques ou la taille de la machine, ou les deux, le justifient, il convient d'utiliser la machine réelle ou les composants réels de la machine comme éprouvette. Cela signifie habituellement qu'il est nécessaire d'utiliser des bobines de section complète, avec les distances dans l'air et les lignes de fuite réelles, bien qu'une longueur d'encoche réduite puisse convenir.

Les éprouvettes peuvent être de véritables machines, composants de machines ou modèles.

Les modèles d'essai doivent contenir tous les éléments essentiels employés dans les enroulements qu'ils simulent et ils ne doivent être considérés que comme des approximations précises. Les épaisseurs d'isolation, les lignes de fuite et, si nécessaire, les protections contre les décharges doivent correspondre à la tension assignée maximale prévue et aux normes de matériel ou à la pratique.

Pour les machines de grandes dimensions et à tensions élevées, les modèles d'essai représentant une partie d'une bobine ou d'une barre peuvent être utilisés, si le vieillissement spécifique à cette pièce a fait l'objet d'une étude, à condition que les facteurs d'influence représentatifs puissent être appliqués aux échantillons.

Les systèmes comparés doivent avoir des configurations correspondant à celles à utiliser pour les machines.

NOTE Il est admis que l'on peut obtenir des valeurs nettement différentes de durée de vie en essai pour les mêmes matériaux d'isolation en fonction des épaisseurs d'isolation et des lignes de fuite.

Des échantillons simulant des parties de bobine ou d'enroulement peuvent être utilisés pour l'évaluation si les contraintes exercées en service sur ces parties peuvent être reproduites fidèlement dans l'essai.

Des types particuliers de modèles ont été utilisés avec succès dans certains pays et des exemples en sont donnés dans les Annexes A et B.

Il convient que le fabricant s'assure que les matériaux proposés pour la fabrication du nouveau système d'isolation puissent être manipulés sans dégradation de leurs propriétés lors des processus de fabrication prévus.

#### **4.2 Vérification des effets de changements mineurs dans les systèmes d'isolation**

Les changements mineurs sont décrits dans la CEI 60034-18-1. Le fait de se procurer le matériau d'un composant essentiel auprès d'un fournisseur différent sans changer la spécification du matériau peut constituer un exemple de changement mineur dans un système d'isolation à fils. Si l'évaluation par vieillissement thermique est appropriée pour évaluer un changement mineur dans un système d'isolation éprouvé en service, il est acceptable d'utiliser une température unique pour vieillir une éprouvette qui ne contiendra pas moins que le nombre d'échantillons recommandé.

Il convient d'effectuer une évaluation réduite au moyen d'un cycle de température de vieillissement dans la plage des données d'endurance thermique connues pour le système éprouvé en service.

#### **4.3 Nombre d'échantillons**

Il convient d'effectuer les essais en n'utilisant pas moins de cinq échantillons par température de vieillissement, par système d'isolation. Il s'agit du nombre minimum recommandé pour la confiance statistique.

#### **4.4 Contrôle de la qualité**

Il convient que chaque matériau isolant que l'on prévoit d'utiliser pour préparer les éprouvettes soit soumis à des essais distincts, destinés à établir l'uniformité, avant toute utilisation dans le système.

Chaque échantillon doit être soumis aux essais de contrôle de qualité du processus de production normal ou prévu.

Pour éliminer les éprouvettes défectueuses, il convient tout d'abord de les qualifier par un examen visuel, puis en procédant à des essais de surtension en conformité avec les essais pratiqués sur les machines ou les bobines dans les installations de fabrication, ou comme ils sont décrits dans les paragraphes relatifs aux essais de diagnostic, en retenant l'essai de tension le plus contraignant.

NOTE Si nécessaire, on pourra pratiquer des essais supplémentaires de sélection (ou de qualification) comprenant:

- mesure de la résistance d'isolement;
- mesure de la tangente de l'angle de pertes et de la capacité;
- mesure de la tension d'apparition des décharges partielles;
- équilibre des courants de phase en fonctionnement;
- surtensions répétitives;

- mesure du courant de fuite;
- essai à haute tension.

Il convient que toute éprouvette présentant des écarts importants soit mise au rebut ou examinée pour déterminer les raisons de cet écart, et il convient de faire les ajustements nécessaires pour ces écarts.

#### **4.5 Essais préliminaires de diagnostic**

Chaque éprouvette réalisée doit être soumise à tous les essais de diagnostic que l'on a choisi d'utiliser dans l'essai fonctionnel thermique avant le début du premier sous-cycle de vieillissement thermique, cela afin d'établir que chaque échantillon est capable de satisfaire aux essais de diagnostic choisis.

### **5 Procédures d'essai**

#### **5.1 Principes généraux des essais de diagnostic**

Dans de nombreux cas, l'expérience a démontré que la meilleure évaluation de diagnostic d'un système d'isolation thermiquement dégradé, et donc habituellement cassant, s'obtient par exposition à des contraintes mécaniques, lesquelles produisent des craquelures dans les parties contraintes mécaniquement, puis par exposition à l'humidité et enfin par application de la tension d'essai.

Dans d'autres cas, les contraintes mécaniques, l'exposition à l'humidité et l'application de la tension peuvent ne pas constituer les meilleurs essais de diagnostic et peuvent être remplacés par des essais diélectriques sélectionnés (par exemple la mesure de décharge partielle ou de tangente de perte) qui permettent de vérifier l'état de l'isolation après chaque sous-cycle de vieillissement thermique.

La procédure d'essai comprend plusieurs essais de vieillissement effectués à des températures de vieillissement différentes. Pour chaque température, on détermine la durée de vie du système d'isolation. En se basant sur les résultats de ces essais, on estime la durée de vie en essai à la température de classe par rapport à celle du système de référence à sa température de classe.

Chaque essai de vieillissement se déroule sous forme de cycles, chacun d'eux comprenant un sous-cycle de vieillissement thermique et un sous-cycle de diagnostic. Le sous-cycle de diagnostic peut comprendre des procédures de conditionnement mécanique et d'humidité, suivies d'un essai de tension de diagnostic et d'autres essais de diagnostic.

#### **5.2 Températures de vieillissement et durées des sous-cycles**

Il est recommandé d'effectuer les essais sur le nombre d'échantillons indiqué dans les paragraphes suivants de la présente norme pour au moins trois températures de vieillissement différentes.

La classe thermique prévue (ou la température de classe prévue) pour le système d'isolation candidat ainsi que la classe connue du système de référence doivent être sélectionnées dans le Tableau 1, qui constitue un sous-ensemble des classes thermiques définies dans la CEI 60085 et la CEI 60505.

**Tableau 1 – Classes thermiques**

| Valeur assignée de classe thermique | Classe thermique<br>°C |
|-------------------------------------|------------------------|
| 105 (A)                             | 105                    |
| 120 (E)                             | 120                    |
| 130 (B)                             | 130                    |
| 155 (F)                             | 155                    |
| 180 (H)                             | 180                    |
| 200 (N)                             | 200                    |

NOTE Les classes thermiques 105 (A), 120 (E) et 200(N) du Tableau 1 ne sont plus guère utilisées aujourd'hui dans les machines électriques tournantes et ne figurent pas dans la CEI 60034-1.

Le Tableau 2 indique les températures de vieillissement suggérées et les périodes d'exposition correspondantes pour chaque sous-cycle de vieillissement thermique des systèmes d'isolation des différentes classes thermiques. On peut adapter les durées et les températures pour faire le meilleur usage possible des installations et du personnel, mais ces variations doivent être prises en compte par des comparaisons.

Il convient de sélectionner la température de vieillissement la plus basse de façon à produire une durée de vie d'essai moyenne d'environ 5 000 h; il convient que la température la plus élevée produise une durée de vie d'essai moyenne d'au moins 100 h. On parvient généralement à cette valeur en choisissant la température de vieillissement la plus basse correspondant à une période d'exposition de 28 à 35 jours ou plus.

Par ailleurs, il convient de sélectionner au moins deux autres températures de vieillissement supérieures, qui seront séparées par des intervalles de 20 K ou plus. Des intervalles de moins de 20 K peuvent convenir si les essais sont effectués à plus de quatre températures de vieillissement. La température la plus élevée doit fournir une durée de vie d'essai moyenne d'au moins 100 h.

Pour réduire au minimum l'incertitude due à l'extrapolation, il convient que la température d'essai la plus basse n'excède pas de plus de 25 K la température à laquelle les résultats seront extrapolés.

Si la classe thermique prévue du système d'isolation candidat diffère de la classe connue du système de référence, on doit choisir, de façon appropriée, différentes températures de vieillissement et durées de sous-cycles.

Lorsque le système d'isolation candidat présente un changement mineur par rapport à un système classifié, on peut se référer à 4.2.

Il est recommandé que les longueurs des sous-cycles de vieillissement à la température de classe prévue soient sélectionnées de façon à donner une durée de vie moyenne d'environ 10 cycles pour chaque température de vieillissement.

**Tableau 2 – Températures recommandées et périodes d'exposition des sous-cycles de vieillissement**

| Classe thermique prévue                                           | 105   |       | 120   |       | 130   |       | 155   |       | 180   |       | 200   |       | Jours par sous-cycle de vieillissement |
|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------------|
| $T_1 < T_A \leq T_2$                                              | $T_1$ | $T_2$ | $T_1$ | $T_2$ | $T_1$ | $T_2$ | $T_1$ | $T_2$ | $T_1$ | $T_2$ | $T_1$ | $T_2$ |                                        |
| Plage suggérée pour la température de vieillissement ( $T_A$ ) °C | 170   | 180   | 185   | 195   | 195   | 205   | 220   | 230   | 245   | 255   | 265   | 275   | 1 – 2                                  |
|                                                                   | 160   | 170   | 175   | 185   | 185   | 195   | 210   | 220   | 235   | 245   | 255   | 265   | 2 – 3                                  |
|                                                                   | 150   | 160   | 165   | 175   | 175   | 185   | 200   | 210   | 225   | 235   | 245   | 255   | 4 – 6                                  |
|                                                                   | 140   | 150   | 155   | 165   | 165   | 175   | 190   | 200   | 215   | 225   | 235   | 245   | 7 – 10                                 |
|                                                                   | 130   | 140   | 145   | 155   | 155   | 165   | 180   | 190   | 205   | 215   | 225   | 235   | 14 – 21                                |
|                                                                   | 120   | 130   | 135   | 145   | 145   | 155   | 170   | 180   | 195   | 205   | 215   | 225   | 28 – 35                                |
|                                                                   | 110   | 120   | 125   | 135   | 135   | 145   | 160   | 170   | 185   | 195   | 205   | 215   | 45 – 60                                |

NOTE Ce Tableau 2 a pour objet d'apporter une certaine souplesse aux laboratoires: il leur donne la possibilité de choisir des durées et des températures de vieillissement qui leur permettront d'optimiser l'utilisation de leur personnel et de leurs installations. Il présente la situation idéale (basée sur la règle des 10 K) qui permet de doubler la durée de vieillissement pour chaque diminution de 10 K de la température de vieillissement (par ex., 1, 2, 4, 8, 16, 32 et 64 jours de vieillissement). Il permet d'effectuer le vieillissement en multiples d'une semaine aux températures de vieillissement les plus faibles (par ex., 1, 2, 4, 7, 14, 28 et 49 jours de vieillissement). Il permet également d'effectuer le vieillissement de façon à rendre maximale la semaine de travail de cinq jours. Le principal avantage à cela est qu'il est toujours possible de commencer le sous-cycle de vieillissement le vendredi et les essais de diagnostic le lundi (par ex., 3, 10, 17, 31 et 59 jours de vieillissement).

### 5.3 Méthodes de chauffage

En dépit de certains inconvénients évidents, les étuves se sont avérées être un moyen commode et économique de produire le vieillissement thermique. On doit utiliser des étuves à convection forcée. Avec la méthode de l'étuve, toutes les parties du système d'isolation sont soumises à la température de vieillissement, alors que dans la réalité une grande proportion du système d'isolation peut ne pas fonctionner à des températures aussi élevées que celle du point chaud, mais à des températures bien plus basses. En outre, les produits de la décomposition sont susceptibles de rester à proximité de l'isolation pendant le vieillissement en étuve, alors qu'en fonctionnement réel ils peuvent être emportés par la ventilation. Les températures de vieillissement doivent être régulées et maintenues constantes à  $\pm 2$  K jusqu'à 180 °C inclus et à  $\pm 3$  K de 180 °C à 300 °C.

Il n'est pas obligatoire d'utiliser une étuve pour le chauffage. On peut utiliser un moyen plus direct si nécessaire, qui simulerait de plus près les conditions de service, comme par exemple:

- le chauffage direct par le courant électrique;
- le démarrage et l'inversion du cycle de service (essai de moteurs);
- la superposition d'un courant continu sur le courant alternatif normal d'un moteur fonctionnant à vide;
- l'application d'éléments chauffants flexibles aux échantillons.

### 5.4 Sous-cycle de vieillissement thermique

Il convient de placer les éprouvettes froides (se trouvant à température ambiante) directement dans les étuves préchauffées, de façon à les soumettre à un choc thermique régulier à chaque cycle. De manière similaire, il convient de retirer les éprouvettes chaudes des étuves en les faisant passer directement dans l'air ambiant de façon à les soumettre à un choc thermique uniforme, que ce soit lors du refroidissement ou du chauffage.

Il est admis que certains matériaux se détériorent plus rapidement lorsque les produits de décomposition restent en contact avec la surface de l'isolation, tandis que d'autres se



détériorient plus rapidement lorsque les produits de décomposition sont éliminés continuellement. L'étuve doit être ventilée de la même façon pour le système candidat que pour le système de référence.

Si, pendant le service, les produits de décomposition restent en contact avec l'isolation, comme cela peut être le cas dans les machines entièrement fermées, il convient de définir ensuite les essais de telle façon que la ventilation de l'étuve n'élimine pas complètement ces produits de décomposition. Idéalement, il convient que la concentration des produits de décomposition ne varie pas avec la température de vieillissement, mais cela n'est peut-être pas réalisable dans les conditions pratiques de l'essai. Le rapport d'essai doit mentionner la vitesse de remplacement de l'air pendant le vieillissement thermique.

En fonction des installations disponibles pour les essais, du type d'éprouvette utilisé et d'autres facteurs, il peut être souhaitable d'utiliser d'autres méthodes de chauffage et d'évacuation des produits de décomposition.

Outre le vieillissement thermique, que l'on interrompt périodiquement pour les essais diagnostics de façon à surveiller la dégradation thermique, la détérioration thermomécanique d'un système d'isolation peut également être produite par la dilatation et la contraction du système pendant le cycle de température.

## **6 Sous-cycle de diagnostic**

### **6.1 Séquence de conditionnement**

Après chaque sous-cycle de vieillissement thermique, chaque échantillon doit être soumis à des procédures de conditionnement mécanique et d'humidité, suivi d'essais de résistance à la tension et d'autres essais diagnostics, s'il y a lieu.

### **6.2 Conditionnement mécanique**

Il est recommandé que les contraintes mécaniques soient de même nature que celles rencontrées en service et d'une sévérité comparable aux contraintes les plus élevées susceptibles de se présenter en service normal. La procédure d'application de ces contraintes peut dépendre du type d'éprouvette et du type d'utilisation prévue.

Une méthode largement utilisée pour appliquer des contraintes mécaniques consiste à monter chaque éprouvette sur une table vibrante et à faire fonctionner celle-ci pendant 1 h avec un mouvement d'oscillations de 50 Hz ou 60 Hz. D'autres méthodes, telles que la répétition d'impacts et la courbure, sont également utilisées.

On peut aussi utiliser le cycle de service de démarrage-arrêt ou d'inversion comme technique pour soumettre les enroulements à des contraintes mécaniques dans les machines réelles. On peut cependant introduire le vieillissement mécanique. Du fait que c'est dans les machines de grandes tailles que cet effet est le plus grave, on doit prendre en compte ce facteur.

### **6.3 Conditionnement d'humidité**

On admet dans de nombreux cas que l'humidité est une cause majeure de variation des propriétés de l'isolation électrique. Elle peut être à l'origine de différents types de défaillances de l'isolation sous contrainte électrique. L'absorption d'humidité par l'isolation solide a pour effet graduel d'augmenter les pertes diélectriques et de réduire la résistance de l'isolation, et elle peut contribuer à modifier la rigidité diélectrique. L'humidité sur l'isolation permet à l'essai de tension de détecter plus efficacement les craquelures et la porosité dans l'isolation.

Il est courant d'intégrer un essai d'humidité dans le sous-cycle de diagnostic. Au cours de cet essai, on expose chaque échantillon à de l'humidité; on dépose de l'humidité sur

l'enroulement. Pendant cette période, il convient de n'appliquer aucune tension aux échantillons.

Un essai d'une durée de deux jours, au cours duquel une humidité visible est présente sur les surfaces de l'isolation, ce qui correspond à une situation plus grave que celle que l'on rencontre en service normal, est un type d'essai devenu très répandu. L'expérience a démontré qu'une durée d'exposition d'au moins 48 h est nécessaire pour que l'humidité pénètre dans l'enroulement afin que la résistance de l'isolation atteigne un niveau relativement stable.

NOTE En cas de systèmes d'isolation complètement étanches, un essai d'immersion dans l'eau peut être, en outre, nécessaire pour l'application de l'étanchéité à l'humidité.

## 6.4 Essais de tension

Afin de contrôler l'état des échantillons et de déterminer le moment où s'est produite la fin de la durée de vie en essai, on applique la tension dans le cadre du sous-cycle de diagnostic sélectionné. La valeur et la forme d'onde de la tension à appliquer sont définies dans les paragraphes qui suivent de la présente norme, comme indiqué par exemple en 8.4.4, 9.4.3, 10.4.3, 11.4.3 et 12.4.3. Si l'on spécifie une tension à la fréquence industrielle, la fréquence doit être dans la plage d'environ 49 Hz à 62 Hz.

La tension peut être appliquée entre bobine et masse, entre bobines, entre spires ou entre fils, s'il y a lieu. Si l'on effectue un essai d'humidité, on effectue l'essai de tension à température ambiante lorsque les échantillons sont encore humides. On doit utiliser pour cela une eau de la qualité de celle du robinet. On peut essuyer la surface de l'échantillon au niveau des connexions d'extrémité pour sécher celles-ci.

Dans certains cas, la présence d'une humidité de surface peut empêcher d'appliquer normalement la tension; on peut alors essuyer les gouttelettes d'eau de la surface de l'échantillon juste avant d'appliquer la tension.

On doit veiller à ne pas faire subir aux systèmes d'isolation des transitoires de tension dus à des surtensions de manœuvre intempestives.

Toute défaillance d'un composant quelconque du système d'isolation constitue la défaillance de l'échantillon complet et détermine la fin de la durée de vie en essai.

L'échec d'un essai de tension est indiqué par un niveau de courant inhabituel. Un échauffement localisé ou un dégagement de fumée peut également indiquer une défaillance. En cas d'apparition de petits crépitements ou de petites étincelles en surface, il convient de le noter, mais cela ne constitue pas une défaillance.

Le matériel d'essai doit être de capacité suffisante pour produire et révéler des défaillances.

## 6.5 Autres essais de diagnostic

Il peut être souhaitable d'effectuer des mesures périodiques non destructives de l'état de l'isolation sur certains des échantillons pendant le déroulement des essais. On mesurera par exemple des facteurs tels que la résistance de l'isolation, la tangente de perte et la décharge partielle. En notant l'évolution des valeurs mesurées et en corrélant celles-ci au temps avant que n'apparaisse une défaillance, on peut apprendre quelque chose sur le processus de vieillissement de l'isolation.

On peut également utiliser d'autres essais de diagnostic pour déterminer la fin de la durée de vie en essai, soit en complétant les essais de tension, soit en utilisant d'autres. On peut établir un critère de point limite pour chaque essai de diagnostic, en fournissant les justifications appropriées.

## **7 Signalisation et évaluation fonctionnelle des données provenant du système candidat et du système de référence**

### **7.1 Généralités**

Les procédures permettant de déterminer les critères de point limite appropriés et de tracer les courbes d'endurance thermique sont données en 5.2 de la CEI 60034-18-1.

Pour un essai de qualification complet, la durée de vie logarithmique moyenne de chaque éprouvette est tracée avec ses limites de confiance à 90 % en fonction de l'inverse de la température, selon la CEI 60216-1. Les unités en abscisse représentent l'inverse de la température absolue (1/K), mais sont habituellement exprimées en température Celsius. Les unités en ordonnées sont exprimées en heures. Il convient de représenter le résultat sous forme de courbe semi-logarithmique avec des lignes droites pour le système candidat et le système de référence, et des intervalles de confiance de 90 % pour leurs valeurs moyennes à chaque température d'essai.

Le paragraphe 5.2 de la CEI 60034-18-1 recommande une liste générale d'informations à enregistrer et inclure dans le rapport d'essai. D'autres éléments peuvent être mentionnés dans le rapport d'essai s'il y a lieu. La CEI 60216-5 fournit un guide pour l'analyse statistique complète des résultats.

### **7.2 Détermination de la qualification**

#### **7.2.1 Présentation**

La première étape consiste à définir la durée de service attendue et la classe thermique du système candidat, puis à comparer les performances du système de référence et du système candidat aux critères de qualification donnés dans le Tableau 3. Il est recommandé de prendre des précautions pour qualifier un système candidat pour une autre classe thermique et/ou une autre durée de service, du fait des suppositions implicites de l'approche.

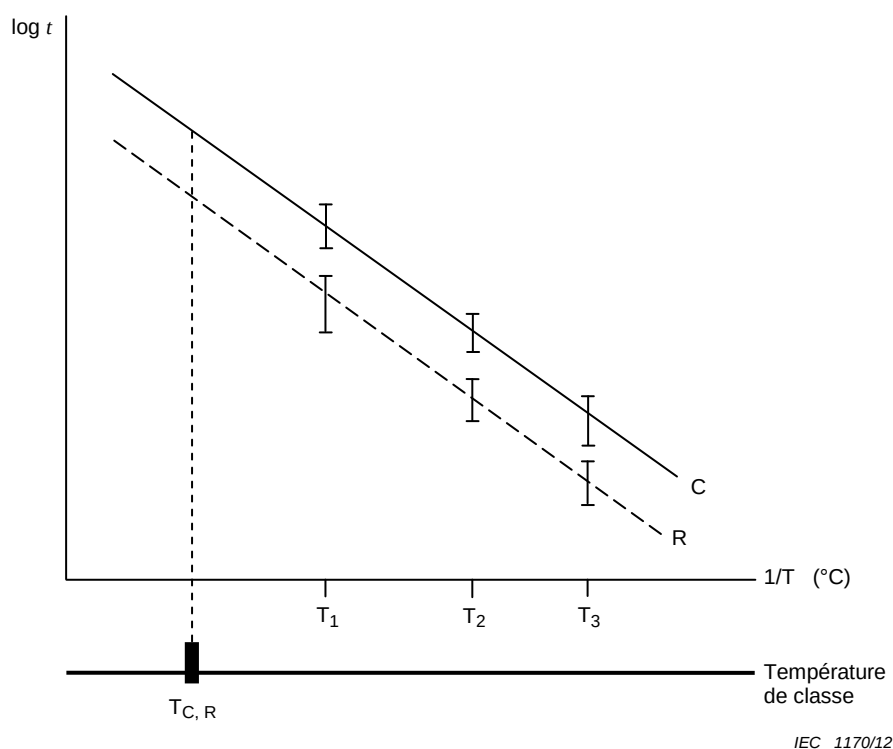
Avant poursuivre l'évaluation par comparaison, il doit être établi la bonne adéquation de la droite de régression du système candidat et du système de référence aux données (il est recommandé que  $R^2 \geq 0,98$ ) et qu'il n'y a aucune indication d'une quelconque variation du mécanisme de vieillissement dans la plage de températures d'essai. Si l'une ou l'autre des droites de régression est non linéaire, se reporter à 7.2.6, dans laquelle un simple essai de linéarité est décrit.

**Tableau 3 – Conditions pour la qualification du système candidat**

| Cas | Performance relative au système de référence  |                       | Températures d'essai (issues du Tableau 2) | Critères de qualification                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----|-----------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | Température de classe ( $T_{\text{classe}}$ ) | Durée de vie attendue |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| A   | Identique                                     | Identique             | Identique                                  | L'intervalle de confiance du système candidat chevauche ou dépasse celui du système de référence, à toutes les températures d'essai.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| B   | Identique                                     | Différente            | Identique                                  | Suivant les ajustements appropriés aux limites de confiance du système candidat (voir la description dans le texte pour chaque cas):<br>1. L'intervalle de confiance du système candidat doit chevaucher ou dépasser l'intervalle de confiance du système de référence.<br>2. Le système candidat présente des performances qui s'améliorent continuellement; autrement dit, la pente de sa ligne de régression est supérieure ou égale à la pente de la ligne de régression du système de référence. |
| C   | Différente                                    | Identique             | Différente                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| D   | Différente                                    | Différente            | Différente                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

### 7.2.2 Cas A: Qualification pour la même température de classe et la même durée de service attendue

Pour qualifier le système candidat pour la même température de classe et la même durée de vie utile prévue (Tableau 3, Cas A), le système candidat et le système de référence sont soumis aux essais en utilisant les mêmes cycles de vieillissement thermique. Le système candidat est qualifié si son intervalle de confiance chevauche ou dépasse celui du système de référence sur la plage de températures d'essai. La Figure 1 en montre un exemple, dans lequel le système candidat "C" est comparé au système de référence "R" et montrant le dépassement des intervalles de confiance à toutes les températures d'essai.  $T_{C,R}$  est la classe thermique du système de référence.



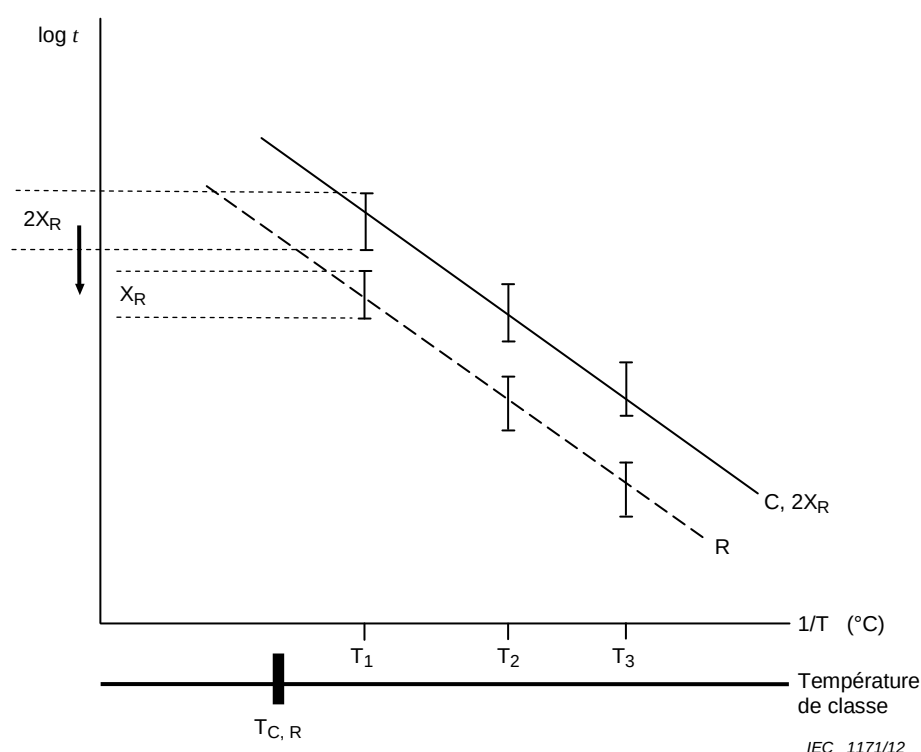
**Figure 1 – Système candidat qualifié pour la même classe thermique et la même durée de service attendue**

### 7.2.3 Cas B: Qualification pour la même température de classe et une durée de service attendue différente

Pour qualifier le système candidat pour la même température de classe et une durée de service attendue différente (Tableau 3, cas B), on soumet aux essais le système candidat et le système de référence en utilisant les mêmes cycles de vieillissement thermique.

Les limites de confiance du système candidat à chaque température sont décalées sur l'axe vertical d'une valeur égale à la modification convenue de la durée de vie en service, à l'intérieur de la plage  $X_R/2$  à  $2X_R$ , où  $X_R$  est la durée de vie du système de référence à chaque température. Le système candidat est qualifié si ses intervalles de confiance décalés chevauchent ou dépassent ceux du système de référence, et si le système candidat présente une performance en continuelle amélioration, à savoir, la pente de sa droite de régression est plus forte ou égale à la pente de la droite de régression du système de référence.

La Figure 2 illustre un exemple d'un système candidat évalué en vue de la qualification pour la même classe thermique, et une durée de vie en service représentant le double de celle du système de référence. Lorsque la ligne pleine du système candidat est diminuée d'un coefficient de 2, ses limites de confiance à 90 % chevauchent celles du système de référence. Par souci de simplicité, le décalage sur l'axe vertical est représenté uniquement pour les limites de confiance à une seule température,  $T_1$ . Il est à noter que  $T_{C,R}$  est la classe thermique du système de référence.



**Figure 2 – Système candidat qualifié pour la même classe thermique et une durée de service prévue différente**

Si la droite de régression du système candidat coupe celle du système de référence à l'intérieur de la plage de mesure, elle n'est qualifiée pour une durée de vie utile supérieure à  $T_{C,R}$  uniquement si elle présente une amélioration de ses performances comparées à celles du système de référence à  $T_{C,R}$  à l'intervalle de durée de vie requis.

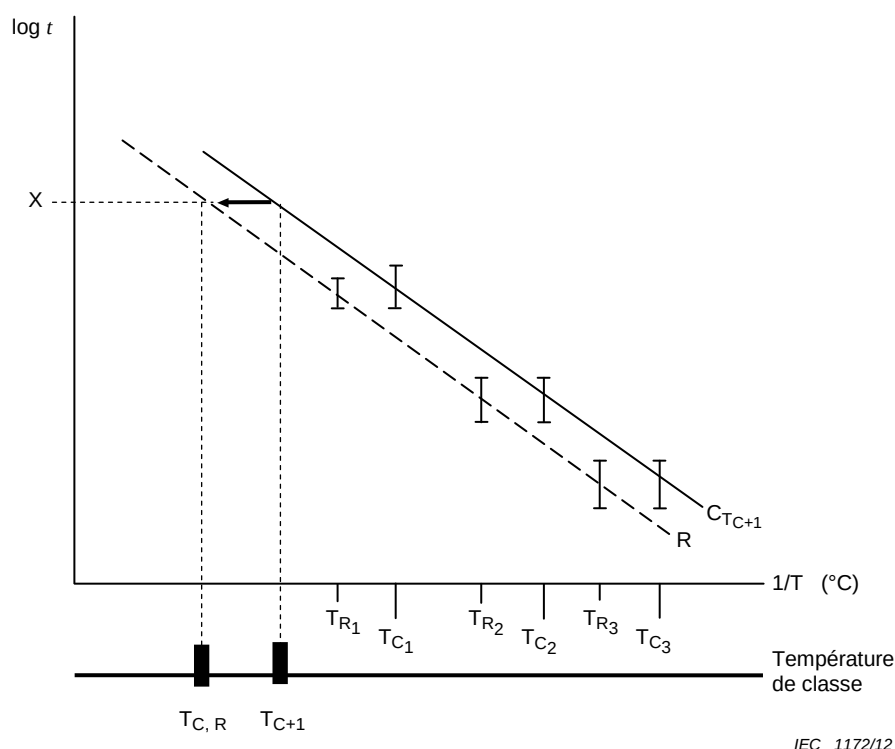
S'il existe une possibilité de surcharge thermique du système d'isolation pendant que celui-ci est en service, il convient d'évaluer les exigences de qualification du système candidat comme dans le cas A, dans lequel la durée de vie du système candidat est égale ou supérieure à celle du système de référence sur la plage des températures d'essai.

#### **7.2.4 Cas C: Qualification pour une température de classe différente et la même durée de service attendue**

Pour qualifier un système candidat pour une température de classe différente et la même durée de service attendue (Tableau 3, cas C), on soumet aux essais le système candidat en utilisant les cycles de vieillissement appropriés pour sa classe thermique prévue. Cette approche n'est valable qu'à la condition que la classe thermique prévue du candidat ne soit pas supérieure ou inférieure de plus d'une unité à la classe thermique du système de référence. Il convient que la température d'essai la plus basse du système de référence ne dépasse pas de plus de 25 K sa température de classe connue, et il convient que la température d'essai la plus basse du système candidat ne dépasse pas de plus de 25 K sa température de classe prévue.

Les limites de confiance du système candidat à chaque température sont décalées sur l'axe horizontal d'une valeur égale à la modification convenue de la température de classe, où la classe thermique attendue du système candidat n'est pas supérieure ou inférieure de plus d'une unité à la classe thermique du système de référence. Le système candidat est qualifié si son intervalle de confiance décalé chevauche ou dépasse celui du système de référence, et si le système candidat présente une performance en continuelle amélioration, à savoir, la pente de sa droite de régression est plus forte que ou égale à la pente de la droite de régression du système de référence.

La Figure 3 illustre un exemple de système candidat évalué en vue de la qualification pour la même la même durée de vie utile prévue à la température de la classe immédiatement supérieure, où l'intervalle de confiance pour le système candidat en essai utilisant les cycles pour une température de classe supérieure est redécalé vers la température de classe du système de référence. Lorsque le décalage de l'axe horizontal est accompli, les intervalles de confiance chevauchent ou dépassent ceux du système de référence.  $T_{C,R}$  est la classe thermique du système de référence.  $T_{C+1}$  est la classe thermique attendue du système candidat.



**Figure 3 – Système candidat qualifié pour une température de classe différente et la même durée de service attendue**

#### 7.2.5 Cas D: Qualification pour une température de classe différente et une durée de service attendue différente

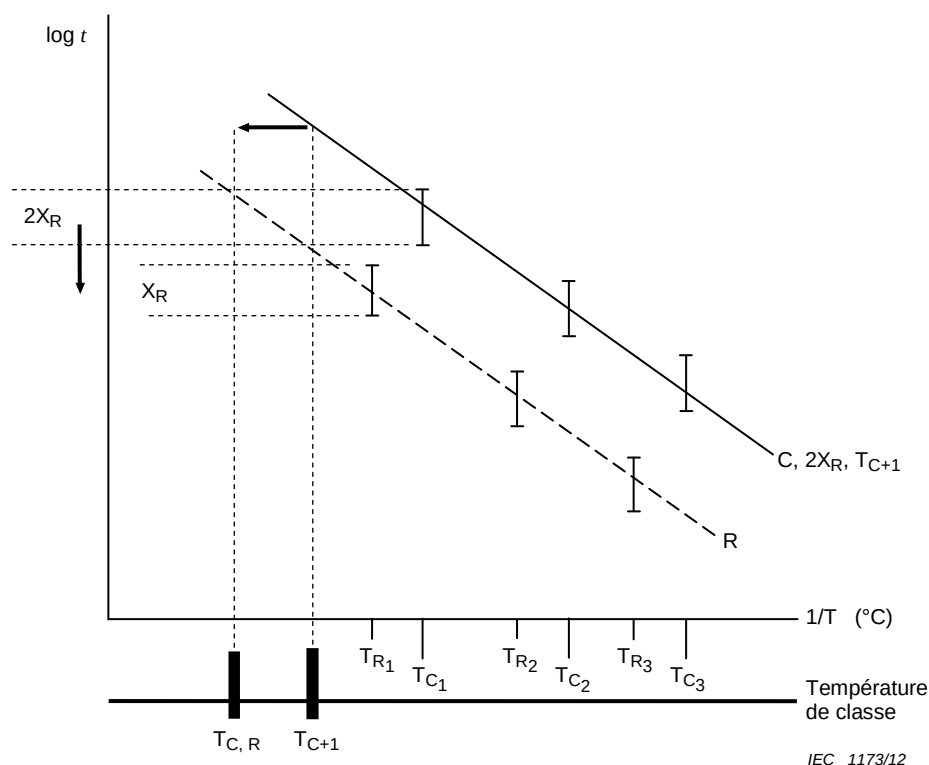
Pour qualifier un système candidat pour une température de classe différente et une durée de vie utile prévue différente (Tableau 3, Cas D), le système candidat est soumis à essai en utilisant les cycles de vieillissement appropriés à sa classe thermique prévue. Cette approche n'est valable qu'à condition que la classe thermique attendue du système candidat ne soit pas supérieure ou inférieure de plus d'une unité à la classe thermique du système de référence. Il convient que la température d'essai la plus basse du système de référence ne dépasse pas de plus de 25 K sa température de classe connue, et il convient que la température d'essai la plus basse du système candidat ne dépasse pas de plus de 25 K sa température de classe prévue.

La qualification du système candidat est déterminée par décalage de l'axe vertical et de l'axe horizontal.

Les limites de confiance du système candidat à chaque température sont décalées sur l'axe vertical d'une valeur égale à la modification convenue de la durée de vie en service, à l'intérieur de la plage range  $X_R/2$  to  $2X_R$ , où  $X_R$  est la durée de vie du système de référence à chaque température.

Les limites de confiance du système candidat à chaque température sont alors décalées sur l'axe horizontal d'une valeur égale à la modification convenue de la température de classe, où la classe thermique attendue du système candidat n'est pas supérieure ou inférieure de plus d'une unité à la classe thermique du système de référence. Le système candidat est qualifié si son intervalle de confiance décalé chevauche ou dépasse celui du système de référence, et si le système candidat présente une performance en continuelle amélioration, à savoir, la pente de sa droite de régression est plus forte que ou égale à la pente de la droite de régression du système de référence.

La Figure 4 illustre un exemple de système candidat évalué en vue de la qualification pour une valeur double de celle de la durée de vie utile attendue du système de référence, à la température de la classe immédiatement supérieure au système de référence. Par souci de simplicité, le décalage sur l'axe vertical est représenté uniquement pour les limites de confiance à une seule température,  $T_1$ . Le même système candidat est également évalué en vue de la qualification à une température de classe supérieure, où l'intervalle de confiance pour le système candidat en essai utilisant les cycles pour une température de classe supérieure est redécalé vers la température de classe du système de référence, où  $T_{C,R}$  est la classe thermique du système de référence et  $T_{C+1}$  est la classe thermique attendue du système candidat.



**Figure 4 – Système candidat qualifié pour une durée de service différente et une classe thermique différente de celles de la référence**

### 7.2.6 Non-linéarité des lignes de régression

Le système candidat et le système de référence peuvent ne pas répondre de la même manière à la combinaison des facteurs de vieillissement, avec pour résultat des lignes de régression courbées. Un graphique présentant une légère courbure indique que le vieillissement thermique est influencé par plus d'un processus chimique ou plus d'un mécanisme de défaillance. Si l'on ne peut pas faire passer de ligne droite par les barres de tolérance de chacun des points, les données suggèrent que l'on est en présence d'une modification importante du mécanisme de vieillissement principal dans la plage des températures d'essai. Il est recommandé de confirmer la courbe en obtenant un point d'essai supplémentaire à une température inférieure ou intermédiaire.



### 7.2.7 Évaluation réduite

Pour l'évaluation réduite, on soumet une éprouvette unique à un cycle temps-température unique dans la plage des températures utilisées pour produire la ligne de référence. Dans ce cas, on trace la durée de vie logarithmique moyenne de l'éprouvette de manière similaire, ainsi que ses limites de confiance à 90 %, en fonction de la ligne du système de référence.

Cette approche n'est pas aussi rigoureuse ou complète que celle d'une qualification exhaustive, et par conséquent on la réserve pour évaluer les modifications mineures apportées au système d'isolation, c'est-à-dire celles qui ne sont pas censées avoir d'incidence importante sur l'endurance du système soumis à des conditions de contrainte thermique.

Le système candidat est qualifié par l'évaluation réduite si les limites de confiance à 90 % du point de l'éprouvette chevauchent ou dépassent l'intervalle de confiance du système de référence.

## 8 Procédure 1: Procédure d'essai de motorette

### 8.1 Généralités

#### 8.1.1 Définition des éprouvettes

Les éprouvettes peuvent être des machines réelles, des composants ou modèles de machine. Cette procédure, qui utilise comme éprouvettes des motorettes, doit être désignée sous la référence CEI 60034-18-21, Procédure 1.

#### 8.1.2 Procédure d'essai

Cette procédure d'essai d'endurance thermique se compose de plusieurs cycles. Chaque cycle comprend:

- un sous-cycle de vieillissement thermique;
- un sous-cycle de diagnostic qui comprend un essai mécanique, un essai d'humidité avec refroidissement de l'éprouvette et un essai de tension, effectués dans cet ordre.

### 8.2 Eprouvettes

#### 8.2.1 Fabrication des éprouvettes

L'éprouvette utilisée dans cette procédure, appelée motorette, représente le système d'isolation à soumettre à essai.

La motorette doit être fabriquée de façon à englober tous les éléments essentiels; il convient qu'elle soit aussi représentative que possible du système d'isolation complet de l'enroulement.

L'Annexe A décrit un exemple de motorette utilisée pour procéder à un essai sur l'isolation d'un enroulement à fils. La motorette simule un enroulement à fils distribué ou concentré d'une structure de stator à encoches.

S'il s'agit de qualifier des enroulements concentrés, il convient d'utiliser de préférence les motorettes à enroulements polaires de l'Annexe B.

#### 8.2.2 Nombre d'éprouvettes

Il convient que l'essai porte par exemple sur au moins dix motorettes pour chaque température de vieillissement et pour chaque système d'isolation.

### 8.2.3 Essais de vérification de la qualité

Avant de commencer le premier sous-cycle de vieillissement thermique, on doit effectuer les essais de vérification de la qualité suivants:

- examen visuel des éprouvettes;
- essais de tension conformément à la CEI 60034-1;
- essai entre conducteurs sous une tension alternative de 400 V, à l'aide d'un disjoncteur de 50 mA pour détecter les défaillances.

### 8.2.4 Essais préliminaires de diagnostic

Chaque éprouvette fabriquée doit être soumise aux essais de diagnostic décrits à l'Article 6 avant que l'on ne procède au premier sous-cycle de vieillissement thermique.

## 8.3 Sous-cycle de vieillissement thermique

### 8.3.1 Températures de vieillissement et durées des sous-cycles

On doit suivre les procédures indiquées en 5.2.

### 8.3.2 Moyens de chauffage

Des étuves de vieillissement conformes à 5.3 doivent être utilisées.

### 8.3.3 Procédure de vieillissement

Les motorettes doivent être placées directement dans l'étuve chaude au début du sous-cycle de vieillissement, puis retirées de l'étuve pour être exposées immédiatement à l'air à la température ambiante à la fin du sous-cycle.

Afin de diminuer les effets dus aux différences de températures de vieillissement réelles entre les motorettes, il convient que celles-ci soient disposées au hasard dans l'étuve de vieillissement au cours des sous-cycles successifs de vieillissement thermique.

## 8.4 Sous-cycle de diagnostic

### 8.4.1 Généralités

Pour effectuer les sous-cycles de diagnostic, on applique les procédures et les explications données à l'Article 6.

### 8.4.2 Conditionnement mécanique

Au terme de chaque sous-cycle de vieillissement, après retour à la température ambiante, on soumet chaque motorette à des contraintes mécaniques sur une table vibrante pendant une période de 1 h.

L'amplitude recommandée pour les vibrations correspond à une accélération de 1,5 g (amplitude crête à crête de 0,2 mm à 60 Hz ou de 0,3 mm à 50 Hz). Si le principe des contraintes en service (voir 6.2) conduit à une amplitude de vibration plus importante, on doit utiliser celle-ci et le mentionner dans le rapport d'essai.

Les motorettes sont donc montées de telle façon que le mouvement s'exerce perpendiculairement au plan des bobines afin que les extrémités de celles-ci puissent entrer en vibration comme elles le feraient sous l'effet des forces d'enroulement radiales s'exerçant sur les développantes dans un moteur réel. Cet essai de vibration est effectué à la température ambiante et sans tension.

### 8.4.3 Conditionnement d'humidité

Le conditionnement d'humidité doit être effectué pendant au moins 48 h, conformément à 6.3. Aucune tension n'est appliquée pendant l'exposition à l'humidité.

On doit utiliser le principe des éprouvettes refroidies. Voir l'Article C.2 de l'Annexe C. Les motorettes doivent se trouver dans une plage de températures de 15 °C à 35 °C. Le rapport d'essai doit mentionner les températures réelles des motorettes. Pendant cet essai, il n'est pas appliqué de tension sur les éprouvettes. Voir à l'Annexe C des exemples d'équipements à utiliser pour ces essais. En variante, on peut également utiliser des chambres climatiques.

### 8.4.4 Essai de tension

Afin de contrôler l'état des échantillons et de déterminer le moment où s'est produite la fin de durée de vie, un essai de tension à fréquence industrielle est effectué après chaque exposition successive à l'humidité, comme indiqué dans le Tableau 4. L'essai de tension de diagnostic est effectué pendant tout le sous-cycle de vieillissement thermique.

Il convient que la tension d'essai à appliquer par rapport à la masse et entre bobines corresponde à la limite supérieure de la plage de tensions pour laquelle le système d'isolation est conçu. On peut utiliser une tension différente de 660 V afin de permettre, par exemple, l'utilisation d'un grand nombre de données d'essai prises à 600 V. On peut utiliser d'autres tensions d'essai pour déterminer la fin de vie, selon l'expérience en matière d'essai, pour autant que l'on conserve les mêmes tensions pour le système de référence et le système candidat. Le rapport d'essai doit mentionner les écarts par rapport aux valeurs données dans le Tableau 4.

**Tableau 4 – Tensions d'essai**

| Tension assignée en service                                                                                   | Tension recommandée à fréquence industrielle pour les essais |               |                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------|
|                                                                                                               | V (valeur efficace)                                          |               |                                |
|                                                                                                               | Par rapport à la masse                                       | Entre bobines | Entre conducteurs <sup>a</sup> |
| < 400                                                                                                         | 400                                                          | 400           | 110                            |
| 401 – 690                                                                                                     | 690                                                          | 690           | 110                            |
| > 690                                                                                                         | $2 U_N$                                                      | $2 U_N$       | 110                            |
| <sup>a</sup> Plage de tensions acceptables; il convient cependant d'utiliser en permanence la valeur choisie. |                                                              |               |                                |

Les tensions sont appliquées pendant une période de 10 min après que les échantillons ont été maintenus pendant 48 h dans le dispositif d'essai à une humidité relative comprise entre 95 % et 98 %, lorsqu'ils sont humides mais sans présenter de gouttelettes. La tension appliquée est maintenue successivement pendant 10 min avec un montage approprié, tout d'abord entre les conducteurs bobinés en parallèle, puis entre les bobines, et enfin entre toutes les bobines et la masse. Afin d'éliminer les pointes de haute tension accidentelles, on suggère d'incorporer des dispositifs de protection contre les surtensions dans le circuit d'essai.

L'expérience montre que les caractéristiques des disjoncteurs utilisés pour détecter les défaillances sont très importantes. Voir l'Article A.3 de l'annexe A.

### 8.4.5 Autres essais de diagnostic

D'autres essais de diagnostic peuvent être effectués conformément à 6.5.

## 8.5 Analyse, rapport d'essai et classification

On doit suivre les procédures indiquées à l'Article 7.

## 9 Procédure 2: Procédure d'essai de moteurs

### 9.1 Généralités

#### 9.1.1 Définition des éprouvettes

Les éprouvettes peuvent être des machines réelles, des composants ou modèles de machine. Cette procédure, qui utilise comme éprouvettes des moteurs réels, doit être désignée sous la référence CEI 60034-18-21, Procédure 2.

#### 9.1.2 Procédure d'essai

Cette procédure d'essai d'endurance thermique se compose de plusieurs cycles. Chaque cycle comprend:

- un sous-cycle de vieillissement thermique;
- un sous-cycle d'essai de diagnostic qui peut comprendre un essai d'humidité. La tension est appliquée en permanence pendant que le moteur tourne et constitue également un facteur de diagnostic.

Des contraintes thermomécaniques plus importantes et des concentrations supérieures des produits de décomposition se produisent lorsque les essais sont effectués à des températures supérieures aux températures réelles. Aussi, il est admis que les défaillances dues à des contraintes mécaniques ou des tensions anormalement élevées présentent généralement un caractère différent de celui des défaillances qui se produisent à long terme en service.

Par suite de variations au niveau du contrôle des principaux paramètres d'essai, des processus de fabrication et des méthodes d'essai des moteurs, il est extrêmement difficile de comparer des essais de moteur d'une installation à une autre. L'objet de cette procédure est de comparer les systèmes d'isolation de moteurs au sein d'une installation de fabrication et d'une installation d'essai.

Bien que les essais portent sur des moteurs réels, les résultats ne peuvent servir à déterminer la durée d'endurance en fonctionnement réel de façon absolue. Ces essais ne peuvent servir que de moyens de classification servant à comparer des systèmes d'isolation.

### 9.2 Eprouvettes

#### 9.2.1 Fabrication des éprouvettes

Les éprouvettes sont des moteurs complets. On peut modifier un moteur pour l'essai afin d'augmenter sa durée de vie mécanique. Pour augmenter son échauffement, on peut faire appel à diverses techniques à condition de ne rien modifier dans le système d'isolation et son environnement immédiat.

Lors des essais sur les moteurs réels, les dimensions des composants et les processus de fabrication des enroulements, ainsi que leurs formes, ont des incidences sur les résultats des essais. Il convient par conséquent que les processus de fabrication soient les mêmes que ceux qui sont utilisés ou que l'on envisage d'utiliser en production normale.

#### 9.2.2 Nombre d'éprouvettes

Il convient d'effectuer les essais sur au moins cinq moteurs pour chaque température de vieillissement et pour chaque système d'isolation.

### 9.2.3 Essais de vérification de la qualité

Avant de commencer le premier sous-cycle de vieillissement thermique, on doit effectuer les essais de vérification de la qualité suivants:

- examen visuel avant le montage des moteurs;
- essais de tension conformément à la CEI 60034-1.

### 9.2.4 Essais préliminaires de diagnostic

Chaque éprouvette fabriquée doit être soumise aux essais de diagnostic décrits en 9.4 avant que l'on ne procède au premier sous-cycle de vieillissement thermique.

## 9.3 Sous-cycle de vieillissement thermique

### 9.3.1 Températures de vieillissement et durées des sous-cycles

On doit suivre les procédures indiquées en 5.2.

Les températures d'essai doivent être mesurées par la méthode de variation de résistance. On peut installer des thermocouples à titre de contrôle. Il convient de réguler la température avec la précision prescrite en 5.3, après obtention de la température de vieillissement thermique. Si la température de l'un des moteurs s'écarte de façon notable de la moyenne pour le groupe soumis aux essais à une température commune, il convient d'en faire mention et d'en tenir compte lors de l'analyse des données.

### 9.3.2 Moyens de chauffage

Le mode de production de la chaleur dépend du type de moteur utilisé au cours de l'essai et de l'équipement de laboratoire disponible. On peut atteindre des températures d'enroulement supérieures à la normale en augmentant les pertes du moteur par divers procédés tels que: agrandissement de l'entrefer, démarrage et inversion du sens de rotation de chaque moteur, superposition de courant continu au courant alternatif normal, ou augmentation de la température de l'air environnant le moteur. Pour la régulation de la température pendant la partie du cycle consacrée au vieillissement thermique, on peut faire fonctionner les moteurs à la tension et à la fréquence normales avec une commande électrique qui fait démarrer et arrête automatiquement les moteurs ou qui inverse leur sens de rotation par intervalles. La variation automatique de la tension, le réglage de la température de l'air ambiant ou une combinaison des deux sont d'autres moyens acceptables pour contrôler la température.

Les moyens de chauffage doivent être décrits en détail dans le rapport d'essai.

Les moteurs monophasés doivent effectuer au moins 250 opérations de démarrage-arrêt chaque jour de la partie du cycle consacrée au vieillissement thermique. L'enroulement de démarrage d'un moteur monophasé fonctionne normalement avec une densité de courant nettement supérieure à celle de l'enroulement principal pendant le démarrage. Il convient de choisir le nombre de démarrages de façon à obtenir une température dépassant de 10 K à 30 K celle de l'enroulement principal.

Les moteurs polyphasés doivent avoir effectué au moins 1 000 démarrages ou inversions du sens de rotation chaque jour de la partie du cycle consacrée au vieillissement thermique. Les pertes électriques pendant l'inversion servent souvent à maintenir des températures élevées; dans ce cas, le nombre d'inversions du sens de rotation peut nettement dépasser 1 000 par jour. Lors des essais à la température maximale, la durée totale d'exposition est relativement courte et il en résulte un nombre relativement faible d'inversions pendant la durée de l'essai. Pour la température minimale, la durée d'exposition peut être de 16 à 20 fois plus longue que lors de l'essai à température maximale. Une grande différence sur le nombre total de démarrages aurait des incidences sur la pente de la courbe durée-température d'un cycle. Il est donc recommandé que le nombre d'inversions du sens de rotation à basse température

n'excède pas deux fois le nombre d'inversions à température élevée. Théoriquement, il convient de rechercher un nombre égal d'inversions pour chaque température.

### 9.3.3 Procédure de vieillissement

Pendant le cycle de vieillissement thermique, on fait fonctionner les moteurs comme il est indiqué en 9.3.2. La durée de montée en température doit être considérée comme faisant partie de la période de vieillissement thermique alors que la durée de refroidissement n'en fait pas partie. Au terme du sous-cycle de vieillissement thermique, on laisse les moteurs se refroidir jusqu'à la température ambiante avant le sous-cycle de diagnostic. On peut accélérer le refroidissement en faisant tourner les moteurs à vide pendant un certain temps, avec une ventilation non obstruée si les machines sont avec circuit de refroidissement ouvert.

### 9.3.4 Contraintes mécaniques pendant le sous-cycle de vieillissement thermique

Les contraintes mécaniques sont obtenues lors des essais sur les moteurs réels par les vibrations normales du moteur en fonctionnement et par les démarrages ou les inversions du sens de rotation, ou les deux. Un choc mécanique se produit lors du démarrage ou de l'inversion du sens de rotation. On peut augmenter l'amplitude des vibrations à la fréquence double du réseau en élargissant l'entrefer. Les vibrations sont fonction de la force, et plus l'entrefer est large, plus les vibrations tendent à diminuer, non à augmenter. Des forces plus importantes apparaissent dans les enroulements et sont le résultat des courants élevés lors du démarrage et de l'inversion du sens de rotation des moteurs. Lors d'un essai, ces forces mécaniques se produisent aux températures élevées.

Il convient de consigner la méthode d'entraînement et le niveau de vibration.

Il convient que les moteurs en essai soient soit montés solidement, soit montés sur des blocs amortisseurs qui assureront un choc uniforme à tous les moteurs. Le rapport d'essais doit mentionner la méthode de montage utilisée. Les éprouvettes contenant le système d'isolation candidat doivent être montées de la même manière que les éprouvettes contenant le système de référence.

## 9.4 Sous-cycle de diagnostic

### 9.4.1 Conditionnement mécanique

Au terme de chaque sous-cycle de vieillissement et après retour à la température ambiante, chaque moteur est soumis à des contraintes mécaniques, par exemple sur une table vibrante, pendant une période de 1 h.

L'amplitude recommandée pour les vibrations correspond à une accélération de 1,5 g (amplitude crête à crête de 0,2 mm à 60 Hz ou de 0,3 mm à 50 Hz). Si le principe des contraintes en service (voir 6.2) conduit à une amplitude de vibration plus importante, on doit utiliser celle-ci et la mentionner dans le rapport d'essai.

### 9.4.2 Conditionnement d'humidité

Le conditionnement d'humidité doit être effectué pendant au moins 48 h, conformément à 6.3. Aucune tension n'est appliquée pendant l'exposition à l'humidité.

Pour les machines entièrement enveloppées (degrés de protection IP44 ou supérieurs) et pour les machines à courant continu, un essai d'humidité n'est pas obligatoire car il peut être impossible à réaliser.

L'humidité doit être visible sur les enroulements sous forme de gouttelettes, sans écoulement, pendant l'essai d'humidité. Pour assurer une condensation visible, il convient que la température du système d'isolation soit en permanence inférieure à celle du point de rosée de l'atmosphère humide ambiante. La méthode recommandée pour répondre à cette exigence

consiste à utiliser une chambre d'essai de condensation avec éprouvettes refroidies. Cette chambre est décrite à l'Article C.2 de l'Annexe C.

Les moteurs de grandes dimensions peuvent être difficiles à déplacer et à placer dans les équipements utilisés pour les essais d'humidité, ou de tels équipements peuvent ne pas exister. Parmi les autres méthodes utilisables pour l'application d'humidité, on notera: la pose d'une enceinte autour du moteur, l'utilisation d'une chambre d'humidification classique ou d'une chambre à brouillard.

Si les essais doivent porter sur des machines entièrement fermées, il convient de déposer les capots d'extrémité ou les couvercles des borniers ou d'aménager des ouvertures dans les enveloppes pour l'exposition à l'humidité.

#### **9.4.3 Essai de tenue en tension**

Afin de contrôler l'état des échantillons et de déterminer le moment où s'est produite la fin de durée de vie, un essai de tension à fréquence industrielle est effectué après chaque exposition successive à l'humidité. Les tensions d'essai types à utiliser sont indiquées dans le Tableau 4, avec les lignes directrices correspondantes pour les essais en 6.4. L'essai de tension de diagnostic est effectué pendant tout le sous-cycle de vieillissement thermique.

Il convient de faire démarrer et fonctionner les moteurs immédiatement après l'essai d'humidité, alors que les enroulements sont encore humides. Pour les machines qui doivent être remontées avant le fonctionnement, il convient d'effectuer, avant assemblage, un essai à haute tension à fréquence industrielle avec la tension assignée la plus élevée entre les enroulements et la masse pendant 10 min lorsque les échantillons sont encore humides. Pendant une partie au moins du sous-cycle de vieillissement thermique, les moteurs doivent fonctionner à leur tension assignée la plus élevée indiquée sur la plaque signalétique. Il convient d'utiliser une source de puissance mise à la terre à travers une impédance de limitation de courant et de mettre à la terre le châssis du moteur afin que les contraintes de tension s'exercent pendant toute la partie de vieillissement thermique du cycle. Il convient d'utiliser un circuit de détection du courant à la masse pour repérer l'instant du défaut de l'isolation à la masse. Pendant ces essais, la fin de la durée de vie du moteur est déterminée par la défaillance électrique de l'isolation de son enroulement sous la tension assignée appliquée. Le démarrage sans discrimination dans un sens de rotation ou dans l'autre d'un moteur monophasé peut indiquer la défaillance de l'enroulement de démarrage.

Afin d'éliminer les pointes de haute tension accidentelles, on suggère d'incorporer des dispositifs de protection contre les surtensions dans le circuit d'essai.

#### **9.4.4 Autres essais de diagnostic**

D'autres essais de diagnostic peuvent être effectués conformément à 6.5.

Les moteurs peuvent être soumis à un essai de comparaison de tenue aux chocs répétés, effectué sur chaque enroulement ou sur chaque phase du moteur successivement. Comme les essais de choc contraignent également l'isolation à la masse, aucune des tensions utilisées ne doit dépasser la valeur de crête de la tension d'essai par rapport à la masse spécifiée dans la CEI 60034-1.

#### **9.5 Analyse, rapport d'essai et classification**

On doit suivre les procédures indiquées à l'Article 7.



## **10 Procédure 3: Procédure d'essai pour enroulements statoriques dans des encoches**

### **10.1 Généralités**

#### **10.1.1 Définition des éprouvettes**

Les éprouvettes peuvent être des machines réelles, des composants ou modèles de machine. Cette procédure, qui utilise comme éprouvettes des enroulements assemblés dans les encoches d'un stator, doit être désignée sous la référence CEI 60034-18-21, procédure 3.

#### **10.1.2 Procédures d'essai**

Cette procédure d'essai d'endurance thermique se compose de plusieurs cycles. Chaque cycle comprend:

- un sous-cycle de vieillissement thermique;
- un sous-cycle de diagnostic qui comprend un essai mécanique, un essai d'humidité et un essai de tension, effectués dans cet ordre.

### **10.2 Eprouvettes**

#### **10.2.1 Fabrication des éprouvettes**

Les éprouvettes sont de véritables enroulements ou des parties d'enroulements réels montées dans de vrais stators.

Chaque éprouvette peut contenir plusieurs échantillons individuels d'essai.

Un échantillon doit permettre de caractériser l'isolation entre spires, l'isolation entre bobines et l'isolation entre bobine et masse.

Les éprouvettes doivent être fabriquées selon les méthodes de fabrication normales ou prévues.

#### **10.2.2 Nombre d'échantillons**

Pour chaque température de vieillissement, il convient d'effectuer des essais sur au moins 10 échantillons appartenant à un minimum de deux éprouvettes, pour chaque température de vieillissement et pour chaque système d'isolation.

#### **10.2.3 Essais de vérification de la qualité**

Avant de commencer le premier sous-cycle de vieillissement thermique, on doit effectuer les essais de vérification de la qualité suivants:

- examen visuel des éprouvettes;
- essais de tension conformément à la CEI 60034-1.

#### **10.2.4 Essais préliminaires de diagnostic**

Chaque éprouvette fabriquée doit être soumise aux essais de diagnostic décrits à l'Article 6 avant que l'on ne procède au premier sous-cycle de vieillissement thermique.

### **10.3 Sous-cycle de vieillissement thermique**

#### **10.3.1 Températures de vieillissement et durées des sous-cycles**

On doit suivre les procédures indiquées en 5.2.



### 10.3.2 Moyens de chauffage

On peut utiliser des étuves de vieillissement conformes aux indications données en 5.3 ou on procédera à un chauffage par résistance interne, selon le cas.

### 10.3.3 Procédure de vieillissement

Lorsqu'on utilise des étuves, les éprouvettes doivent être introduites directement dans l'étuve chaude au début du sous-cycle de vieillissement, puis retirées de l'étuve et exposées immédiatement à l'air à la température ambiante à la fin du sous-cycle, ou être refroidies de façon à provoquer les mêmes effets.

Si cela est possible, il convient de disposer les éprouvettes au hasard dans l'étuve. Voir 8.3.3.

## 10.4 Sous-cycle de diagnostic

### 10.4.1 Conditionnement mécanique

Avant de procéder à cet essai, les éprouvettes sont refroidies jusqu'à la température ambiante.

La méthode utilisée pour produire des contraintes mécaniques doit être décrite dans le rapport d'essai. On peut utiliser une table vibrante. Les contraintes mécaniques doivent être au moins égales en grandeur aux valeurs les plus élevées des contraintes en service et de même nature. Les contraintes mécaniques doivent être appliquées pendant au moins 1 000 cycles de vibration à une amplitude correspondant à celle de la contrainte transitoire.

NOTE 1 Un essai de surintensité peut servir à produire des efforts électrodynamiques au moins égaux à ceux qui correspondent à l'inversion du sens de rotation du moteur.

NOTE 2 Bien garder à l'esprit que l'amplitude des contraintes transitoires en service les plus élevées est souvent liée à une application spécifique. Cet essai peut ne pas être utilisé pour la qualification mécanique des systèmes.

### 10.4.2 Conditionnement d'humidité

On doit procéder à un conditionnement d'humidité d'au moins 48 h conformément à 3.5.2. Pendant cet essai, on doit constater sur les enroulements la présence de gouttelettes d'humidité visibles, sans écoulement. Les éprouvettes doivent être amenées à une température proche de la température ambiante, comprise entre 15 °C et 35 °C. Le rapport d'essai doit mentionner la température réelle de l'éprouvette. Pendant cet essai, aucune tension n'est appliquée aux échantillons. Les équipements recommandés pour réaliser l'essai d'humidité sont décrits à l'Article C.1 de l'Annexe C.

### 10.4.3 Essai de tenue en tension

Afin de contrôler l'état des échantillons et de déterminer le moment où s'est produite la fin de durée de vie, la tension est appliquée après chaque exposition successive à l'humidité, comme indiqué ci-après.

Il convient de choisir les tensions d'essai dans le Tableau 4. On peut utiliser d'autres tensions d'essai pour déterminer la fin de vie, selon l'expérience en matière d'essai, pour autant que l'on conserve les mêmes tensions pour le système de référence et le système candidat. Le rapport d'essai doit mentionner les écarts par rapport aux valeurs données dans le Tableau 4.

La tension d'essai est appliquée pendant 10 min successivement entre spires, entre bobines et entre toutes les bobines et la masse. La tension doit être appliquée lorsque les échantillons sont encore humides et de préférence lorsqu'ils sont encore dans la chambre d'humidification, à une température proche de la température ambiante. Afin d'éliminer les pointes de haute tension accidentelles, on suggère d'incorporer des dispositifs de protection contre les surtensions dans le circuit d'essai.

#### **10.4.4 Autres essais de diagnostic**

D'autres essais de diagnostic peuvent être effectués conformément à 6.5.

#### **10.5 Analyse, rapport d'essai et classification**

On doit suivre les procédures indiquées à l'Article 7.

### **11 Procédure 4: Procédure d'essai pour enroulements polaires**

#### **11.1 Généralités**

##### **11.1.1 Définition des éprouvettes**

Les éprouvettes peuvent être des machines réelles, des composants ou modèles de machine. Cette procédure, qui utilise comme éprouvettes des enroulements polaires, doit être désignée sous la référence CEI 60034-18-21, procédure 4.

##### **11.1.2 Procédures d'essai**

Cette procédure d'essai d'endurance thermique se compose de plusieurs cycles. Chaque cycle comprend:

- un sous-cycle de vieillissement thermique;
- un sous-cycle de diagnostic qui comprend un essai mécanique, un essai d'humidité et un essai de tension, effectués dans cet ordre.

#### **11.2 Eprouvettes**

##### **11.2.1 Fabrication des éprouvettes**

L'éprouvette utilisée dans cette procédure est un modèle de système d'isolation de bobines de champ, monté sur un pôle. L'éprouvette doit être fabriquée de façon à reprendre tous les éléments essentiels; il convient qu'elle soit aussi représentative que possible du système d'isolation complet de l'enroulement.

L'Annexe B décrit un exemple de modèle de bobine à utiliser pour les essais de systèmes d'isolation de bobine de champ statorique à enroulements à fils jetés. Des pièces polaires prélevées en production peuvent être utilisées si on le souhaite et peuvent se révéler nécessaires dans certains cas lorsque les contraintes produites dans l'ensemble bobine-pôle provoquent des déformations de pôle. Ces mouvements introduiraient, en effet, des différences inadéquates par rapport aux conditions réelles en service.

##### **11.2.2 Nombre d'éprouvettes**

On doit effectuer des essais sur au moins 10 éprouvettes pour chaque température de vieillissement et pour chaque système d'isolation.

##### **11.2.3 Essais de vérification de la qualité**

Avant de commencer le premier sous-cycle de vieillissement thermique, on doit effectuer les essais préliminaires suivants:

- examen visuel des éprouvettes;
- essais de tension conformément à la CEI 60034-1.

##### **11.2.4 Essais préliminaires de diagnostic**

Chaque éprouvette fabriquée doit être soumise aux essais de diagnostic décrits à l'Article 6 avant que l'on ne procède au premier sous-cycle de vieillissement thermique.

### **11.3 Sous-cycle de vieillissement thermique**

#### **11.3.1 Températures de vieillissement et durées des sous-cycles**

On doit suivre les procédures indiquées en 5.2.

#### **11.3.2 Moyens de chauffage**

Des étuves de vieillissement conformes à 5.3 doivent être utilisées.

#### **11.3.3 Procédure de vieillissement**

Les éprouvettes doivent être introduites directement dans l'étuve chaude au début du sous-cycle de vieillissement puis retirées de l'étuve pour être exposées immédiatement à l'air à la température ambiante à la fin du sous-cycle.

Si cela est possible, il convient de disposer les éprouvettes au hasard dans l'étuve. Voir 8.3.3.

### **11.4 Sous-cycle de diagnostic**

#### **11.4.1 Conditionnement mécanique**

Après chaque sous-cycle de vieillissement thermique et après refroidissement jusqu'à la température ambiante, chaque échantillon doit être soumis à des contraintes mécaniques.

Il est recommandé que les contraintes mécaniques soient de même nature que celles rencontrées en service et d'une sévérité comparable aux contraintes les plus élevées susceptibles de se présenter en service normal.

L'essai normalisé de bobines statoriques consiste à placer ces dernières sur une table vibrante conformément à 3.5.1. Il convient que les éprouvettes soient montées de telle façon que le mouvement se produise perpendiculairement au plan de chacune des spires du conducteur afin que les extrémités des bobines soient excitées et puissent entrer en vibration comme elles le feraient sous l'effet des forces radiales s'exerçant sur les développantes dans une véritable machine. Il convient d'effectuer cet essai de vibration à la température ambiante et hors tension. Les échantillons doivent être excités de façon à vibrer pendant une période de 1 h. L'amplitude recommandée de la vibration correspond à une accélération de 1,5 *g* (15 m/s<sup>2</sup>), soit une amplitude crête à crête de la vibration de 0,3 mm à 50 Hz ou 0,2 mm à 60 Hz. Si le principe général énoncé ci-dessus exige une plus grande amplitude, on doit l'utiliser et le mentionner dans le rapport d'essai.

Si une autre méthode, conforme au principe général énoncé ci-dessus, est utilisée, on doit en rendre compte en détail et la justifier. Par exemple, on peut être amené à faire tourner les bobines de rotors à pôles saillants pour reproduire les contraintes centrifuges rencontrées en service.

#### **11.4.2 Conditionnement d'humidité**

On doit procéder à un conditionnement d'humidité d'au moins 48 h. Pendant cet essai, on doit constater sur les enroulements la présence de gouttelettes d'humidité visibles, sans écoulement. Les éprouvettes doivent être amenées à la température ambiante, comprise entre 15 °C et 35 °C. Le rapport d'essai doit mentionner la température de l'éprouvette. Voir l'Annexe C.

#### **11.4.3 Essai de tenue en tension**

Afin de contrôler l'état des échantillons et de déterminer le moment où s'est produite la fin de durée de vie, la tension à fréquence industrielle doit être appliquée après chaque exposition successive à l'humidité.

Les tensions d'essai types sont données dans le Tableau 4.

On peut utiliser d'autres tensions d'essai pour déterminer la fin de vie, selon l'expérience en matière d'essai, pour autant que l'on conserve les mêmes tensions pour le système de référence et le système candidat. Le rapport d'essai doit mentionner les écarts par rapport aux valeurs données ci-dessus.

La tension d'essai est appliquée pendant 10 min successivement entre spires, entre bobines, s'il y a lieu, et entre toutes les bobines et la masse. La tension doit être appliquée lorsque les échantillons sont encore humides et de préférence lorsqu'ils sont encore dans la chambre d'humidification, à une température proche de la température ambiante. Afin d'éliminer les pointes de haute tension accidentelles, on suggère d'incorporer des dispositifs de protection contre les surtensions dans le circuit d'essai.

#### **11.4.4 Autres essais de diagnostic**

D'autres essais de diagnostic peuvent être effectués conformément à 6.5.

#### **11.5 Analyse, rapport d'essai et classification**

On doit suivre les procédures indiquées à l'Article 7.

### **12 Procédure 5: Procédure d'essai pour enroulements rotoriques dans des encoches**

#### **12.1 Généralités**

##### **12.1.1 Définition des éprouvettes**

Les éprouvettes peuvent être des machines réelles, des composants ou modèles de machine. Cette procédure, qui utilise comme éprouvettes des bobines d'enroulements assemblées dans les encoches d'un rotor, doit être désignée sous la référence CEI 60034-18-21, procédure 5.

##### **12.1.2 Procédures d'essai**

Cette procédure d'essai d'endurance thermique se compose de plusieurs cycles. Chaque cycle comprend:

- un sous-cycle de vieillissement thermique;
- un sous-cycle de diagnostic qui comprend un essai mécanique, un essai d'humidité et un essai de tension, effectués dans cet ordre.

#### **12.2 Eprouvettes**

##### **12.2.1 Fabrication des éprouvettes**

En ce qui concerne les induits à enroulements à fils (rotors de machines à courant continu), l'expérience montre que l'éprouvette présentant le mieux les caractéristiques désirées du rotor bobiné pour l'évaluation des systèmes d'isolation est le rotor lui-même. Les éprouvettes sont donc des enroulements réels ou des parties d'enroulements assemblées dans les encoches d'un rotor.

Il convient de suivre les procédures normales de fabrication des induits pour l'emplacement des isolants, du bobinage et pour le traitement de la résine ou du vernis pendant la fabrication de l'éprouvette. Il convient de réaliser les connexions de façon à permettre les essais diélectriques a) entre spires, b) entre bobines et c) entre bobines et masse, ainsi que pour procéder aux mesures de l'état de l'isolation, généralement dans cet ordre, afin d'obtenir le maximum de renseignements. A cet effet, la configuration de connexions peut différer de la pratique normale. Pour les machines à collecteur, une technique de connexion possible est

de commencer et de terminer chaque bobine sur la même lame du collecteur. On obtient ainsi un enroulement qui n'est pas opérationnel en tant que machine mais les bobines sont isolées pour permettre les mesures. On peut utiliser d'autres configurations de connexion pour isoler les spires ou les bobines afin de répondre aux objectifs de l'essai. Les configurations utilisées pour les connexions d'essai doivent être mentionnées dans le rapport d'essai.

La conception et les matériaux de fabrication du collecteur constituent des facteurs importants pour la réalisation de l'éprouvette. L'objectif de l'essai peut ne porter que sur l'évaluation de l'isolation de l'enroulement de l'induit et il peut alors être préférable d'exclure les effets dus au collecteur. La raison pour laquelle on procède de cette manière est qu'il existe des différences entre les modes de refroidissement et, par conséquent, entre les échauffements de l'enroulement et du collecteur. La capacité thermique des matériaux sélectionnés pour la fabrication de l'enroulement et du collecteur peut donc être différente. Dans ce cas, on peut utiliser un bâti qui remplace le collecteur pour les extrémités de bobines et pour effectuer les mesures.

Si l'essai a pour objectif d'évaluer l'ensemble constitué de l'enroulement et du collecteur, il faudra généralement apporter quelques modifications au collecteur, en particulier sur les petites éprouvettes, pour que les mesures soient valables et les données utiles. La présence de cuivre dénudé et les petits écartements entre lames et entre lames et connexions ou masse, qui sont inhérents à la conception et au fonctionnement du collecteur, risquent de provoquer des contournements ou une combustion indésirable des isolations pendant les essais de surtension. Pour atténuer ces effets, on peut éliminer l'excès d'humidité sur le collecteur en dirigeant avec précaution vers ce dernier un jet d'air forcé ou en l'essuyant avant d'appliquer la tension. Il peut également se révéler nécessaire de protéger par une enceinte la surface du collecteur et les connexions nues.

### **12.2.2 Nombre d'échantillons**

Il convient de soumettre aux essais au moins 10 échantillons de chaque système d'isolation pour chaque température de vieillissement. Un rotor peut être bobiné de façon à comprendre plus d'un système d'isolation, chacun étant correctement identifié et isolé. De préférence, il convient de bobiner plusieurs rotors, contenant chacun un système d'isolation différent, pour un essai à chaque température de vieillissement.

### **12.2.3 Essais de vérification de la qualité**

Avant de commencer le premier sous-cycle de vieillissement thermique, on doit effectuer les essais de vérification de la qualité suivants:

- examen visuel des éprouvettes;
- essais de tension conformément à la CEI 60034-1.

### **12.2.4 Essais préliminaires de diagnostic**

Chaque éprouvette fabriquée doit être soumise aux essais de diagnostic décrits en 8.4 avant que l'on ne procède au premier sous-cycle de vieillissement thermique.

## **12.3 Sous-cycle de vieillissement thermique**

### **12.3.1 Températures de vieillissement et durées des sous-cycles**

On doit suivre les procédures indiquées en 5.2.

### **12.3.2 Moyens de vieillissement**

Des étuves de vieillissement conformes à 5.3 doivent être utilisées.

### 12.3.3 Procédure de vieillissement

Les éprouvettes doivent être introduites directement dans l'étuve chaude au début du sous-cycle de vieillissement, puis retirées de l'étuve pour être exposées immédiatement à l'air à la température ambiante à la fin du sous-cycle.

Si cela est possible, il convient de disposer les éprouvettes au hasard dans l'étuve. Voir 8.3.3.

## 12.4 Sous-cycle de diagnostic

### 12.4.1 Conditionnement mécanique

Les contraintes mécaniques sont appliquées soit en faisant tourner les rotors à l'aide d'un moyen mécanique de façon à reproduire les efforts centrifuges rencontrés en service, soit en procédant à une inversion du sens de rotation dans le cycle de service des machines réelles, soit en effectuant des essais de vibration d'une durée de 1 h. La procédure utilisée doit être indiquée dans le rapport d'essai.

Il est recommandé que ces contraintes soient d'une sévérité comparable aux contraintes les plus élevées susceptibles d'apparaître en service normal.

### 12.4.2 Conditionnement d'humidité

Le conditionnement d'humidité doit être effectué pendant au moins 48 h. Pendant cet essai, on doit constater sur les enroulements la présence de gouttelettes d'humidité visibles, sans écoulement. Les éprouvettes doivent être amenées à une température proche de la température ambiante, comprise entre 15 °C et 35 °C. Le rapport d'essai doit mentionner la température réelle de l'éprouvette. Voir l'Annexe C.

### 12.4.3 Essai de tension

#### a) Rotors de machines à courant continu

Afin de contrôler l'état des échantillons et de déterminer le moment où s'est produite la fin de la durée de vie, un essai de tension est effectué après chaque exposition successive à l'humidité, comme indiqué dans le Tableau 4.

On peut utiliser d'autres tensions d'essai pour déterminer la fin de vie, selon l'expérience en matière d'essai, pour autant que l'on conserve les mêmes tensions pour le système de référence et le système candidat. Le rapport d'essai doit mentionner les écarts par rapport aux valeurs données ci-dessus.

La tension d'essai est appliquée pendant 10 min successivement entre spires, entre bobines et entre toutes les bobines et la masse. Il convient que la tension soit appliquée lorsque les échantillons sont encore humides et de préférence lorsqu'ils sont encore dans la chambre d'humidification, à une température proche de la température ambiante. Afin d'éliminer les pointes de haute tension accidentelles, on suggère d'incorporer des dispositifs de protection contre les surtensions dans le circuit d'essai.

#### b) Rotors de machines à courant alternatif

Les procédures des essais de tension ainsi que les valeurs des essais pour les rotors de machines à courant alternatif restent à déterminer.

### 12.4.4 Autres essais de diagnostic

D'autres essais de diagnostic peuvent être effectués conformément à 6.5.

## 12.5 Analyse, rapport d'essai et classification

On doit effectuer les procédures indiquées à l'Article 7.

## **Annexe A** (informative)

### **Fabrication d'une motorette (exemples)**

#### **A.1 Informations générales**

##### **A.1.1 Matériaux**

- parties métalliques (autres que les conducteurs): acier inoxydable;
- isolateurs: céramique ou autre matériau résistant aux hautes températures;
- bobines et isolation: les composants utilisés, ou que l'on envisage d'utiliser, pour la fabrication réelle.

##### **A.1.2 Dimensions**

Il convient que les dimensions des échantillons soient approximativement égales à celles de la production normale. Il convient que les lignes de fuite, l'épaisseur de l'isolation et les entrefers soient les mêmes, ou plus petits, que ceux qui sont utilisés en production normale.

##### **A.1.3 Fabrication**

Deux bobines montées dans la même paire d'encoches constituent la partie essentielle de la motorette. Les encoches sont faites en tôles d'acier inoxydable, de façon appropriée, et fixées à la base de la motorette. Quatre isolateurs sont également fixés à la base. Voir la Figure A.2 concernant les principes utilisés pour la construction de la motorette.

Les bobines sont bobinées avec deux fils en parallèle. Il convient que le nombre de spires donne la même épaisseur dans l'encoche qu'en production normale.

Les deux bobines sont connectées aux isolateurs afin de faciliter les essais des bobines par rapport à la masse, entre bobines et entre conducteurs.

Les motorettes sont incapables de simuler l'influence des procédés de fabrication comme les techniques d'insertion des enroulements. Par conséquent, l'influence des procédés de fabrication sera minime. Les motorettes peuvent être assemblées à la main, à l'aide de moyens simples.

Les motorettes sont utiles pour évaluer la compatibilité des matériaux utilisés dans un système d'isolation candidat.

#### **A.2 Fabrication détaillée d'une motorette (exemple)**

Les renseignements détaillés donnés dans cette annexe peuvent être inutiles dans un laboratoire où l'on apporte des modifications à une motorette donnée en vue d'améliorer ou de mieux atteindre un objectif d'essai. Toutefois, si l'on ne dispose pas d'une grande expérience dans l'évaluation des isolations, ou si l'on veut essayer de comparer des données d'essais entre laboratoires, la description de la fabrication d'une motorette, donnée ici, doit être suivie scrupuleusement. L'expérience a montré qu'il fallait apporter le plus grand soin à la conception et à la préparation d'une motorette pour que les résultats des essais pouvant être pratiqués sur des échantillons dans des laboratoires différents soient comparables.

Les illustrations qui suivent concernent la fabrication d'une motorette qui est adoptée et utilisée depuis de nombreuses années par de nombreux laboratoires différents et qui a donné des résultats homogènes:



- Figure A.1: Vue de tous les composants d'une motorette avant assemblage, y compris les matériaux d'isolation électrique, le fil de bobinage et les pièces métalliques.
- Figure A.2: Motorette complète.
- Figure A.3: Pièces métalliques du châssis et de la base de la motorette avant assemblage.

La motorette achevée se compose d'une base métallique formant un support rigide avec quatre isolateurs saillants en porcelaine ou en un autre matériau approprié boulonnés à une extrémité et avec deux encoches constituées d'une tôle intérieure et d'une tôle extérieure boulonnées à l'autre extrémité. Le support de base comporte des trous pour le montage de la motorette pendant les essais de vibration. Les sections d'encoches sont fabriquées en tôles d'acier inoxydable. La partie d'encoche assemblée contient deux bobines isolées de la masse par l'isolation d'encoche et isolées l'une de l'autre par l'isolation entre phases et maintenues en place par les cales d'encoche. Ces composants sont des pièces représentatives de celles utilisées dans les moteurs réels. Les bobines sont composées de fils parallèles enroulés permettant de procéder aux essais électriques entre conducteurs. Elles peuvent être bobinées à la machine sur des broches ou des gabarits comme cela se fait habituellement en atelier. Lorsque cela est nécessaire, les procédures de fabrication et de traitement peuvent être modifiées pour simuler l'utilisation prévue. On trouvera ci-après une description détaillée de la préparation des motorettes. Elle est présentée sous forme d'exemple de fabrication aux seules fins de la présente norme.

#### a) Eléments constitutifs d'une motorette

- 1) Fil – Fil de bobinage de 1,12 mm de diamètre, isolé grade 2.
- 2) Isolation d'encoche – Feuille d'isolation de 0,25 mm découpée en rouleaux de 70 mm de largeur. Il convient de replier ce matériau sur 3,2 mm de chaque côté. La largeur finale sera de 64 mm, ce qui donne une saillie de 4,8 mm à chaque extrémité de l'encoche.
- 3) Isolation entre phases – Deux bandes de feuille d'isolation de 0,25 mm d'épaisseur et de 13 mm × 75 mm, et une pièce circulaire de 64 mm de diamètre avec, au centre, un trou de 38 mm de diamètre. On réalise ainsi un chevauchement de 6,4 mm sur les parties rectangulaires.
- 4) Cales d'encoches – Il convient que les cales, fabriquées dans du profilé préformé en U, mesurent 9,5 mm de largeur à la base et 76 mm de longueur. Il convient qu'une extrémité de la cale soit arrondie pour faciliter le passage dans l'encoche.
- 5) Gaine – Gaine isolante de taille suffisante pour passer sur les conducteurs et de longueur suffisante pour couvrir les conducteurs du centre de la partie de la bobine dans l'encoche jusqu'à la borne.
- 6) Cordon de fretage – Longueur suffisante pour fixer ensemble la bobine et les conducteurs.
- 7) Ruban d'enroulement – Ruban de qualité électrique, de 13 mm de largeur.
- 8) Vernis ou résine d'isolation électrique. Abordés par la CEI 60455 ou la CEI 60464.

Tous les matériaux énumérés ci-dessus sont des éléments constitutifs du système d'isolation candidat ou du système d'isolation de référence.

#### b) Assemblage des motorettes

- 1) Bobines d'enroulement – Il convient que chaque bobine soit bobinée serrée sur un gabarit ayant une forme approximativement ovale, les côtés parallèles mesurant 64 mm. Ceux-ci sont séparés de 44 mm. Les extrémités arrondies de l'ovale sont composées de demi-cercles de 44 mm de diamètre. Chaque bobine se compose de 20 spires de fils enroulés par deux (40 fils). Du fait qu'il y a deux bobines dans chaque encoche, chacune comporte donc 80 fils. On prépare les extrémités non connectées en coupant l'extrémité de chaque paire de fils et en laissant une longueur de 5 mm à partir de la bobine près du milieu de l'un des demi-cercles. Cette longueur de 5 mm est maintenue en place à l'aide d'un ruban d'enroulement. Les deux extrémités non connectées sont séparées par une distance minimale de 5 mm. Les autres extrémités



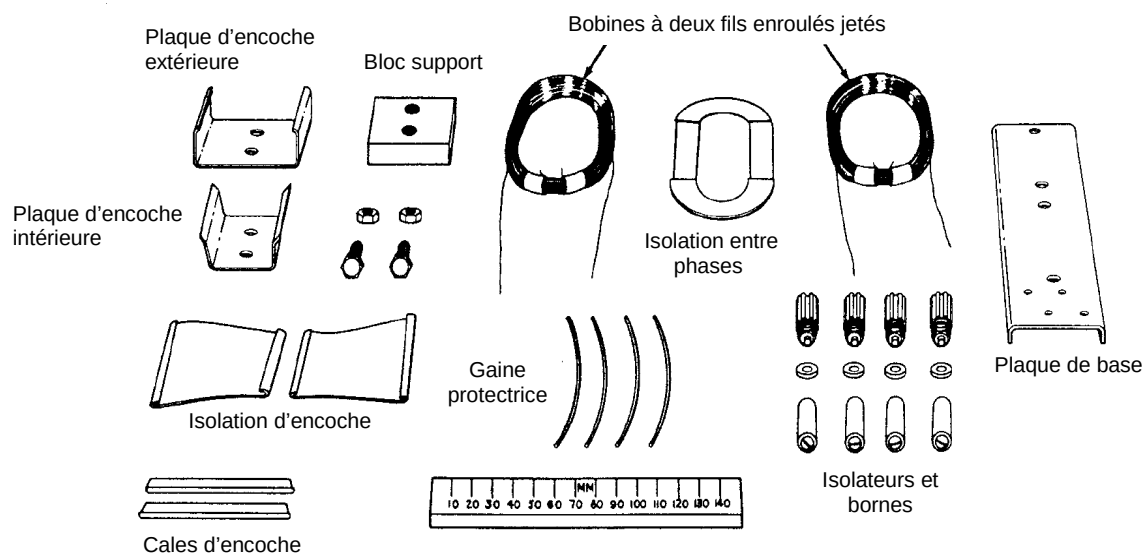
des conducteurs sont sorties de chaque partie droite de la bobine et on place une gaine sur chacun des conducteurs. Le conducteur et la gaine sont maintenus en place à l'aide du cordon de frettage. Cet assemblage est représenté à la Figure A.1.

- 2) Nettoyage et assemblage des pièces métalliques inoxydables – Avant assemblage, chaque pièce métallique de la motorette est immergée pendant au moins 30 min dans un solvant composé de parties égales de toluène et d'alcool dénaturé. Chaque pièce est ensuite retirée du solvant, rincée avec du solvant propre puis essuyée avec un chiffon non pelucheux. On assemble les pièces métalliques des motorettes avec soin, en s'assurant que les encoches soient de même largeur et que leurs côtés soient parallèles. Pour cela, il suffit de couper deux blocs de bois de même largeur que l'encoche et de centrer l'encoche en y plaçant les blocs avant de resserrer les boulons de fixation des encoches.
- 3) Insertion de l'isolation d'encoche – L'isolation d'encoche est découpée dans la bande sous forme d'un carré de 64 mm de côté et est courbée pour s'adapter à l'encoche. L'isolation de la tôle peut ainsi être repliée sous la cale et dépasser de 5 mm à chaque extrémité de l'encoche. L'isolation d'encoche est insérée dans l'encoche avec beaucoup de soin afin qu'une longueur égale dépasse à chaque extrémité de l'encoche.
- 4) Insertion des bobines – L'isolation d'encoche est repliée sur la dent simulée en haut de l'encoche pour s'assurer que le fil de bobinage n'est pas endommagé lorsqu'il est placé dans l'encoche. La bobine inférieure est insérée vers l'encoche avec les extrémités du conducteur non connectées dirigées vers le bas et les conducteurs vers le haut de la bobine. Lorsque la bobine inférieure est en place, on introduit l'isolation entre phases et on veille à ce que cette isolation à l'intérieur de l'encoche couvre complètement la bobine inférieure. Si l'isolation entre phases à l'intérieur de l'encoche est trop grande, les bords sont repliés en remontant vers le haut de l'encoche. L'isolation entre phases est dimensionnée et placée de façon qu'elle recouvre de manière uniforme toutes les pièces de la bobine inférieure. On maintient à plat les extrémités de la bobine inférieure pour éviter d'endommager les bords de l'isolation d'encoche. On insère la bobine supérieure de la même manière que la bobine inférieure mais en dirigeant les extrémités des conducteurs non connectés vers le haut et les conducteurs vers le bas. On ajuste la bobine supérieure pour conserver la même bordure que la bobine inférieure en s'assurant que les fils de la bobine supérieure ne glissent pas autour de l'isolation entre phases.
- 5) Raccordement des conducteurs – On mesure les conducteurs avec soin pour qu'ils se terminent au niveau des isolateurs. On débarrasse les 13 derniers millimètres du conducteur de l'émail et on les étame à l'extrémité en mettant de la soudure avant de les connecter aux bornes isolées. On connecte les conducteurs de la bobine inférieure aux isolateurs internes et ceux de la bobine supérieure aux isolateurs externes. Lorsque les bobines sont insérées, on fait chevaucher les extrémités du caniveau d'encoche sur la bobine et la cale est insérée en haut de ce revêtement.
- 6) Essais diélectriques – On vérifie la résistance d'isolement des bobines si on le souhaite, et on procède à une vérification en tension comme il est recommandé en 8.4.3. Si la bobine satisfait à cet essai, on traite ensuite la motorette avec du vernis isolant électrique ou de la résine.
- 7) Traitement avec du vernis ou de la résine – Le traitement avec du vernis ou de la résine doit être effectué avec les mêmes matériaux d'imprégnation qu'en production en suivant le plus scrupuleusement possible le processus de production.
- 8) Montage des motorettes – On boulonne dix motorettes à un châssis fait d'aluminium rigide d'environ 13 mm d'épaisseur. Il convient que ce châssis soit fabriqué avec de grandes ouvertures entre les motorettes afin que l'air circule librement. Le châssis est dimensionné de façon à pouvoir entrer dans les étuves et les chambres d'humidité et doit pouvoir être boulonné à la table vibrante.

### A.3 Disjoncteurs pour essais de tension

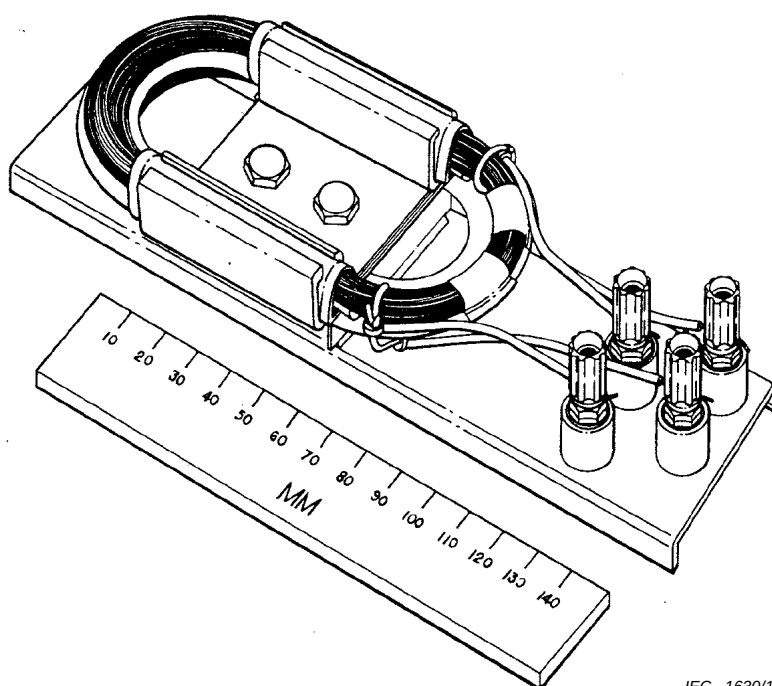
On a utilisé avec succès des disjoncteurs électromécaniques à maximum de courant, précalibrés avec des temps de déclenchement de 2 s à 3 s et avec les courants de déclenchement suivants:

- entre fils 0,75 A;
- entre bobines 0,50 A;
- entre bobines et masse 0,50 A.



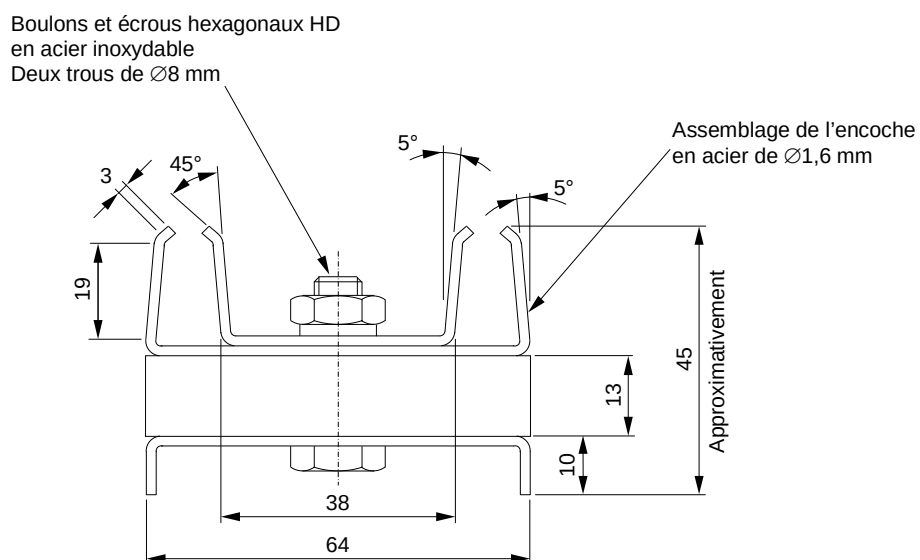
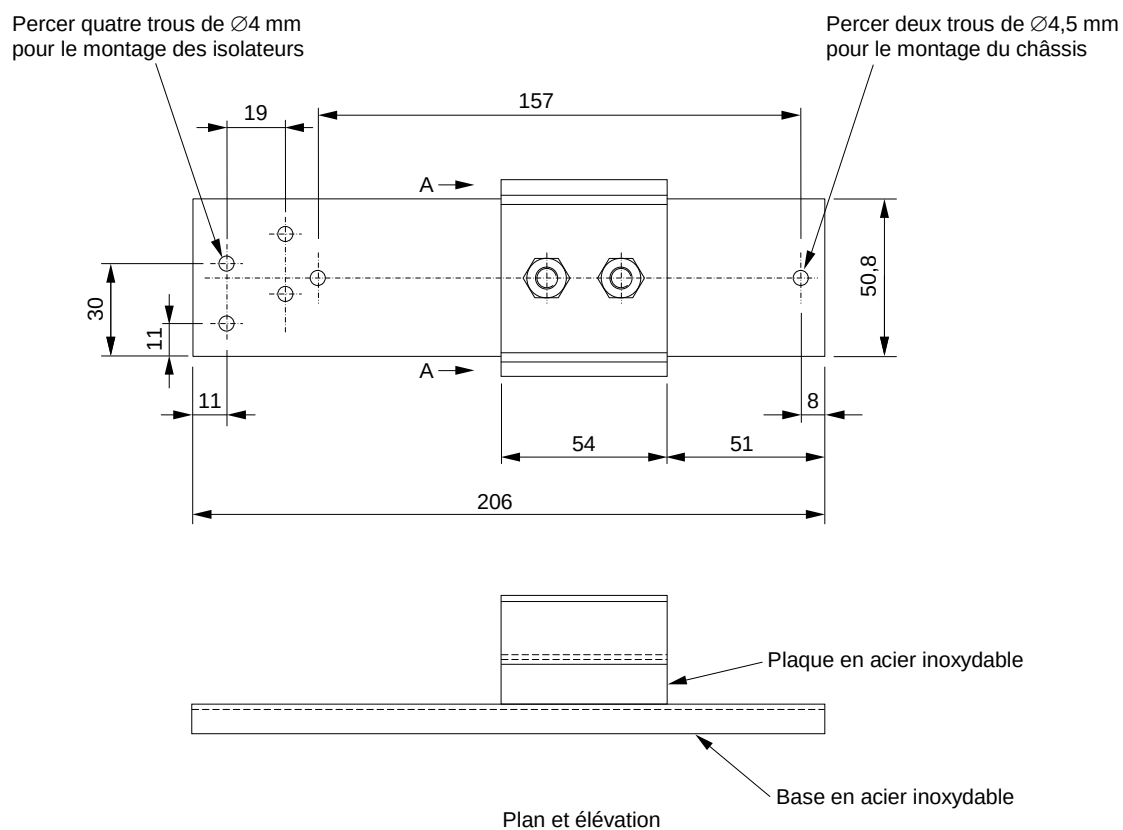
IEC 1629/12

Figure A.1 – Eléments constitutifs de la motorette avant assemblage final



IEC 1630/12

Figure A.2 – Motorette entièrement assemblée et vernie



Ebarber et polir tous les bords

IEC 1631/12

Dimensions en millimètres

**Figure A.3 – Plan de fabrication d'un châssis de motorette**

## **Annexe B** (informative)

### **Modèles pour enroulements polaires (exemples)**

#### **B.1 Montage d'essai pour bobines de champ à enroulement à fils jetés pour machines à courant continu**

Les Figures B.1 à B.4 représentent, à titre d'exemple uniquement, les détails de fabrication d'un montage d'essai pour l'évaluation du système d'isolation d'une bobine de champ à enroulement à fils jetés. Ces informations détaillées ne sont pas forcément utiles à un laboratoire qui développe ses propres éprouvettes. Toutefois, pour les laboratoires ne possédant pas une expérience complète des essais, ou si l'on doit effectuer des comparaisons entre laboratoires, les moindres détails doivent être observés et respectés méticuleusement. On peut apporter des modifications aux dimensions ou à la conception pour que les constructeurs puissent simuler avec une plus grande fidélité leurs propres structures ou conceptions de bobines de champ.

Il convient que la bobine soit une bobine de champ type ne différant d'une bobine de production standard que par le fait qu'elle est bobinée avec deux fils en parallèle pour permettre les essais électriques entre conducteurs qui simulent les mesures entre spires. Il convient que les bobines soient bobinées conformément aux pratiques normales d'atelier, mis à part les deux fils en parallèle, et en veillant à ne pas endommager l'isolation des fils. Il convient que l'isolation entre bobine et masse soit faite conformément aux techniques d'atelier prévues pour l'isolation en essai. Les conducteurs convenant au vieillissement et compatibles avec les isolations des bobines peuvent être fixés aux extrémités des bobines de la façon habituelle, et les extrémités des conducteurs peuvent être connectées aux bornes montées sur la plaque du châssis, toutes les connexions étant correctement protégées ou bien avec les extrémités de la bobine sorties pour être connectées directement aux bornes, ces extrémités de bobine étant protégées par une gaine.

Il convient de noter que les échantillons sont des modèles sur lesquels il peut être impossible de simuler l'influence des procédés de fabrication (par exemple l'enroulement direct).

#### **B.2 Montage d'essai pour bobines de champ à enroulements à fils rangés pour machines à courant continu**

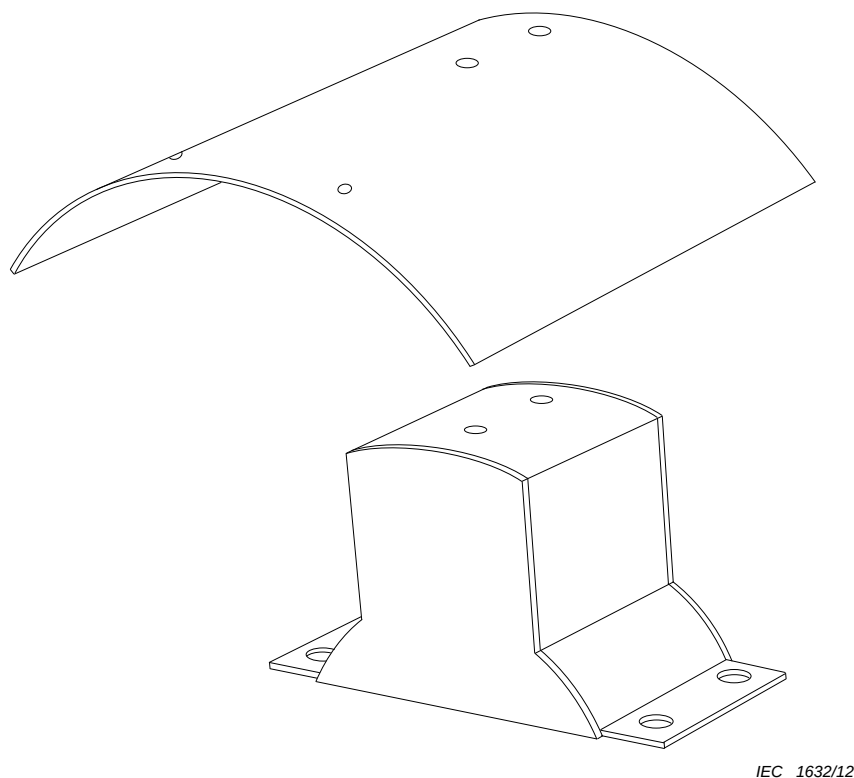
Les Figures B.5 à B.8 illustrent, à titre d'exemple seulement, les détails de fabrication d'un montage d'essai pour l'évaluation du système d'isolation d'une bobine de champ bobinée en couches. Des modifications peuvent être apportées aux dimensions et à la conception pour permettre aux constructeurs de simuler plus fidèlement leurs propres structures ou conceptions de bobines de champ.

On peut utiliser de vrais pôles si cette solution est plus pratique; elle peut être souhaitable si les techniques de fixation des bobines sur les pôles dépendent de la rigidité de la structure des pôles. Pour des raisons similaires, on peut également utiliser de l'acier plus lourd pour la fabrication de la plaque du châssis.

Ces informations seront utiles aux laboratoires ne possédant pas une grande expérience dans l'évaluation des isolations ou lorsqu'on doit comparer des données entre laboratoires.

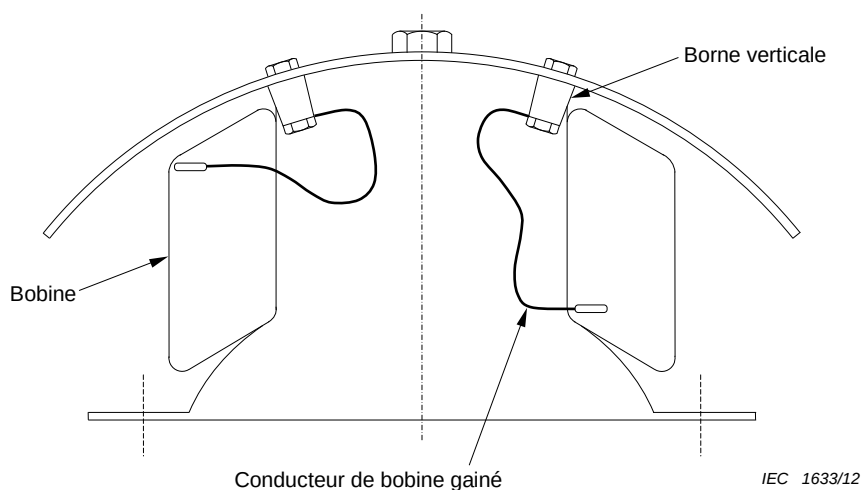
Il convient que la bobine soit bobinée conformément aux pratiques normales de fabrication, à l'exception du fait qu'il y aura, en principe, deux fils en parallèle pour permettre les vérifications entre conducteurs qui simulent les mesures entre spires. Il convient que l'isolation entre bobine et masse, y compris le traitement du vernis, soit conforme aux procédures normales de fabrication, et elle peut différer pour chaque constructeur. Des

conducteurs isolés peuvent être fixés aux extrémités de la bobine, ou ces dernières peuvent être sorties, protégées par une gaine, pour connexion aux isolateurs saillants montés sur la plaque du châssis. Si l'on utilise des conducteurs, il convient de les choisir avec soin pour qu'ils puissent résister à l'exposition thermique de l'essai sans qu'ils se dégradent et sans endommager les composants adjacents. Il convient que la connexion de la bobine aux conducteurs soit également protégée, afin que l'isolation de la bobine soit le facteur évalué et non les composants associés. Il convient que le montage de la bobine sur le pôle soit conforme à la méthode de fabrication envisagée pour le système d'isolation soumis aux essais.



IEC 1632/12

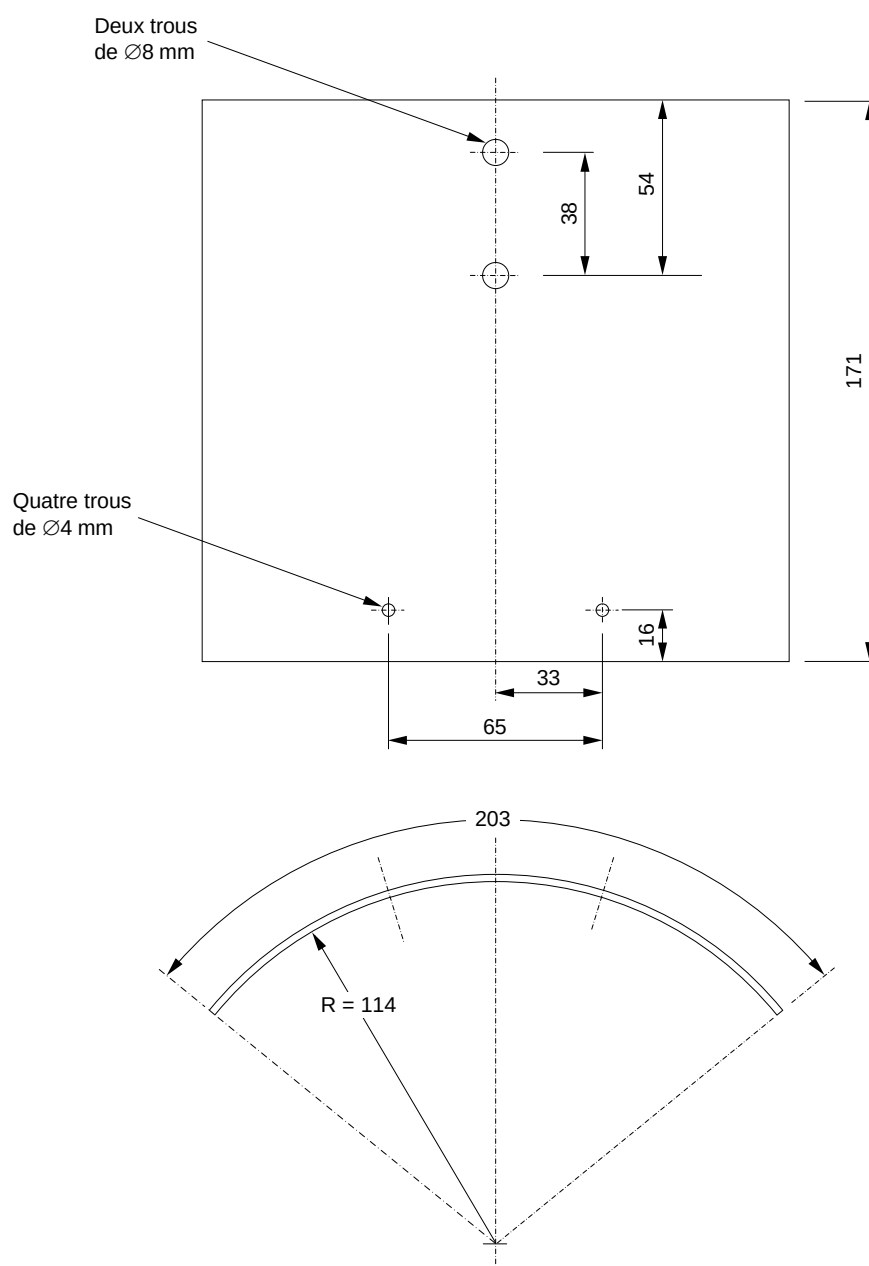
**Figure B.1 – Montage d'essai pour bobine de champ à enroulement à fils jetés**



IEC 1633/12

**Figure B.2 – Bobine de champ à enroulement à fils jetés montée sur le montage d'essai**





Matériau de 2 mm d'épaisseur

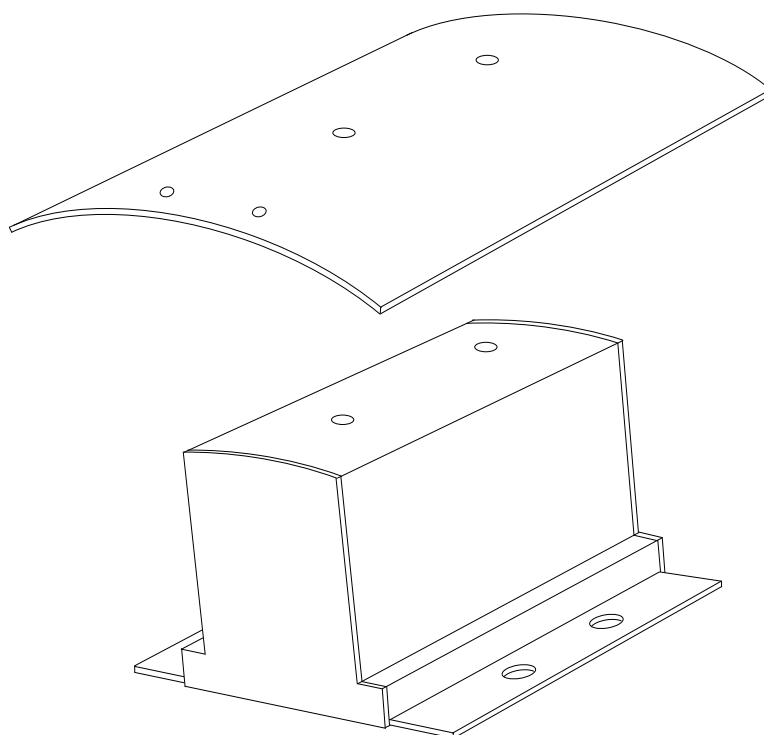
IEC 1635/12

*Dimensions en millimètres*

Ebavurer et éliminer les écailles pour la finition

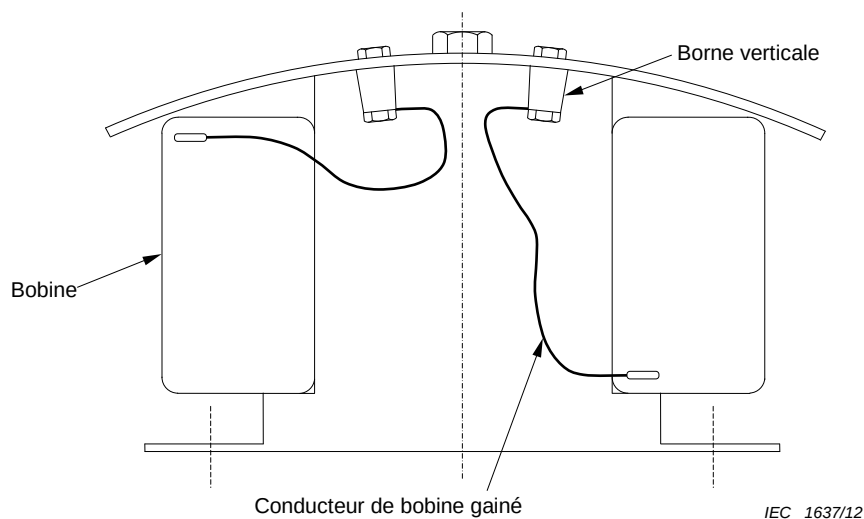
Placage au cadmium ou au zinc sur l'ensemble terminé

**Figure B.4 – Schéma de fabrication du châssis de simulation du montage d'essai de bobine de champ à enroulement à fils jetés**



IEC 1636/12

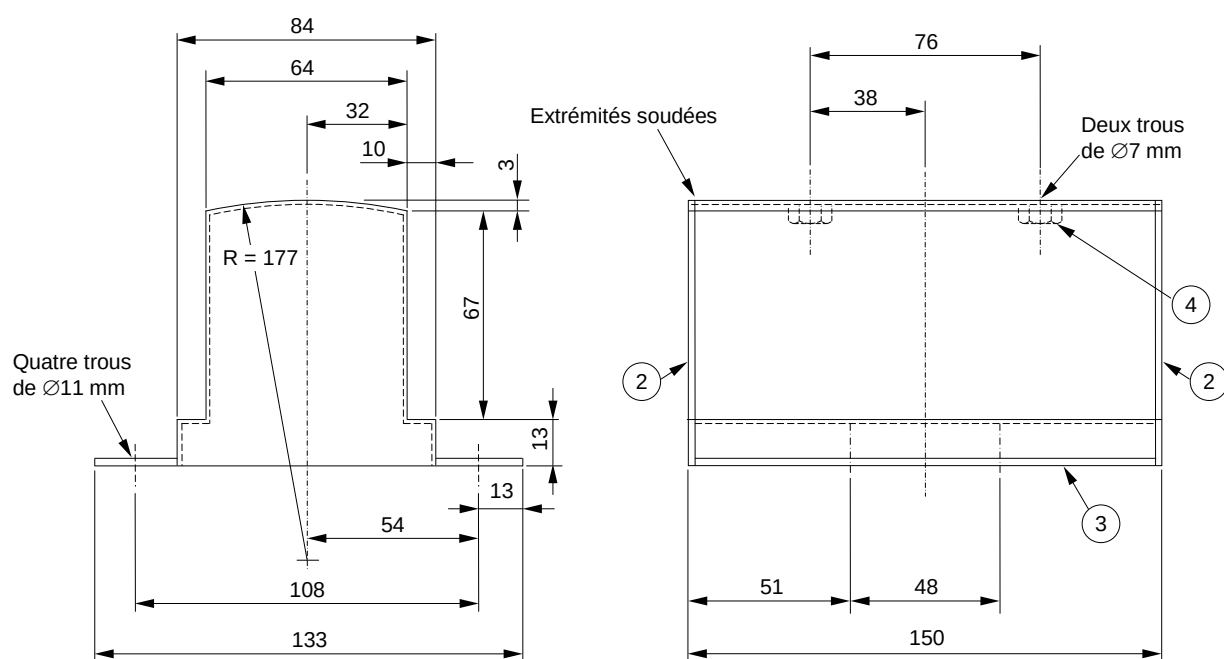
**Figure B.5 – Montage d'essai pour bobine de champ à enroulement à fils rangés**



IEC 1637/12

**Figure B.6 – Bobine de champ à enroulement à fils rangés  
montée sur le montage d'essai**





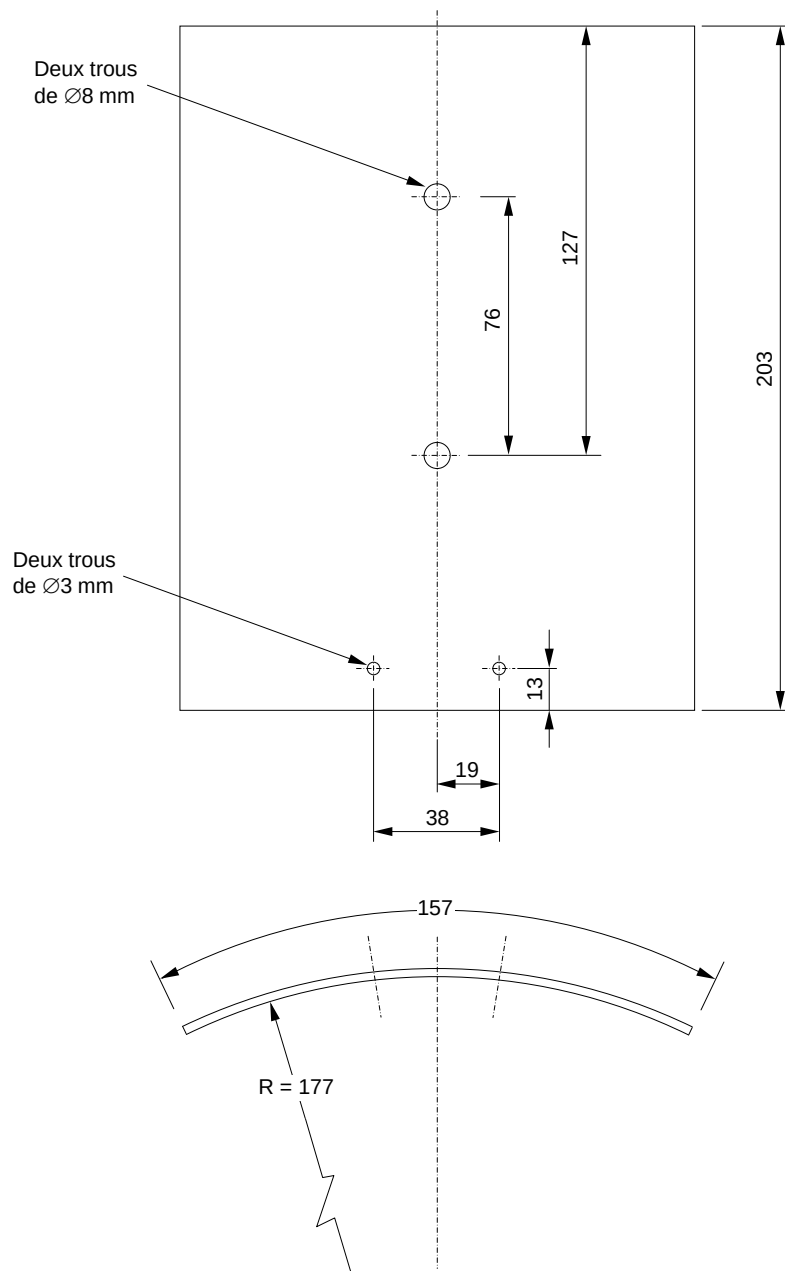
- (2) (3) Matériau de 1,6 mm d'épaisseur
- (4) Deux écrous hexagonaux 6 × 1 en acier, soudés sur (3)

IEC 1638/12

*Dimensions en millimètres*

Ebavurer et éliminer les écailles pour la finition  
Placage au cadmium ou au zinc sur l'ensemble terminé

**Figure B.7 – Schéma de fabrication du pôle de simulation  
du montage d'essai de bobine de champ à enroulement à fils rangés**



Matériau de 2 mm d'épaisseur

IEC 1639/12

Dimensions en millimètres

Ebavurer et éliminer les écailles pour la finition  
Placage au cadmium ou au zinc sur l'ensemble terminé

**Figure B.8 – Schéma de fabrication du châssis de simulation pour l'enroulement à fils rangés**

## **Annexe C** (informative)

### **Equipement pour les essais d'humidité**

#### **C.1 Chambre d'essai de condensation**

On obtient facilement une atmosphère de 100 % d'humidité relative avec condensation, en déposant sur le sol de la chambre d'essai un récipient peu profond contenant de l'eau et un échangeur de chaleur immergé pour chauffer l'eau à une température supérieure de 5 K à 10 K à la température ambiante. Il convient que le plafond de la chambre d'essai ne soit pas isolé et soit en pente pour éviter que l'eau ne goutte sur les éprouvettes. Il convient que l'intérieur de la chambre soit fabriqué avec des matériaux qui résistent à la corrosion et il convient d'éviter le raccordement de métaux différents. Il convient que les portes et les trappes amovibles comportent des rebords en surplomb afin que l'humidité qui s'accumule autour de ces parties s'écoule vers l'intérieur de la chambre.

#### **C.2 Chambre d'essai de condensation avec éprouvettes refroidies**

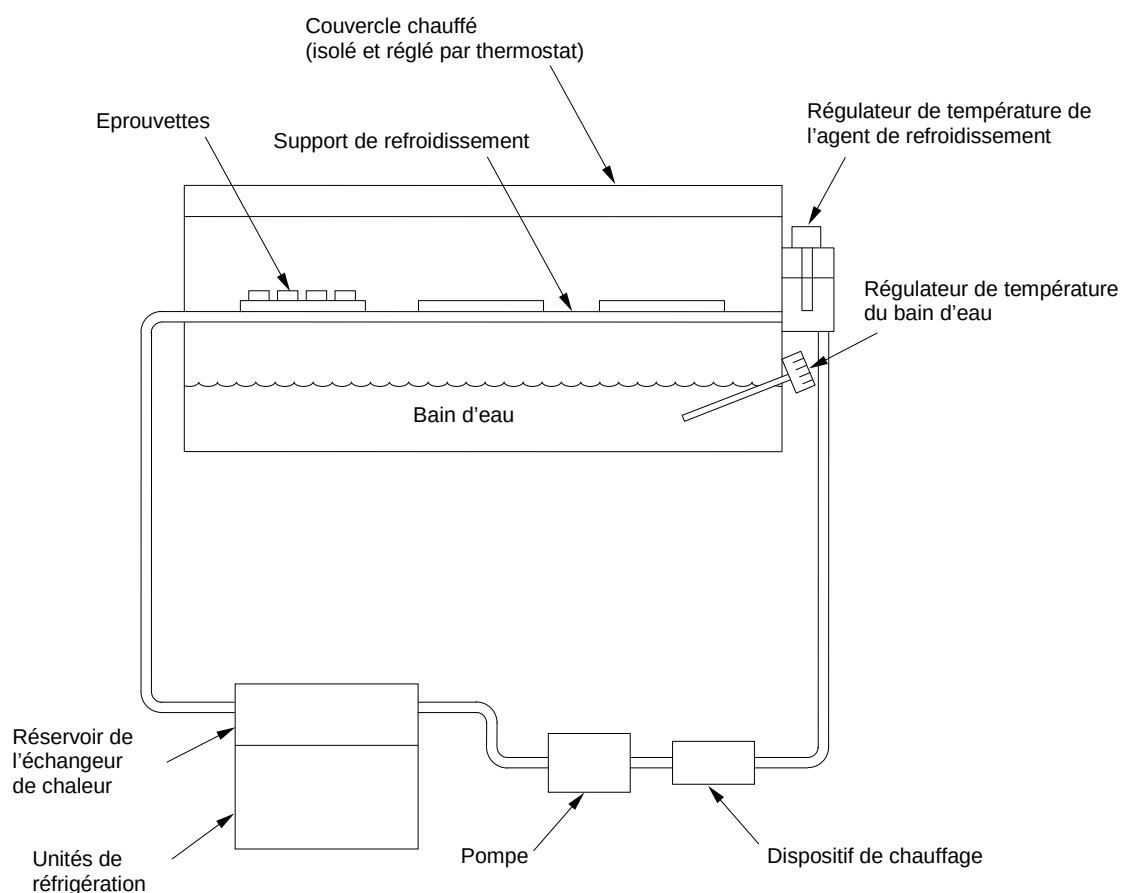
Il convient que la base de chacune des éprouvettes soit montée sur un élément plus froid que l'atmosphère environnante pour s'assurer que le système d'isolation soit à une température inférieure au point de rosée de l'atmosphère. La Figure C.1 représente sous forme schématique le principe de base utilisé. Le tiroir dans lequel sont déposées les éprouvettes, comme représenté à la Figure C.2, est refroidi par un agent qui circule (eau). Ce réfrigérant est contrôlé par thermostat pour qu'il y ait une différence de température spécifiée entre les éprouvettes et l'air environnant de la chambre. La condensation sur les échantillons est ainsi assurée. Cette différence de température est indépendante des variations de la température ambiante de la pièce. Du fait que le bain d'eau chauffée et le réfrigérant sont contrôlés par thermostat, cette indépendance n'est limitée que par la capacité du système.

La régulation de la température n'est pas perdue dans le cas où la température de la pièce atteint une température supérieure à celle du bain d'eau. La déperdition de chaleur vers le tiroir refroidi maintient l'eau sous le contrôle du dispositif de chauffage, ce qui permet d'équilibrer les températures. Dans le cas où la température de la pièce tombe en deçà de celle du tiroir réfrigérant, la régulation est conservée par l'arrivée de chaleur provenant du dispositif de chauffage du bain d'eau. Contrairement à une chambre classique où la température est supérieure à celle du point de rosée, cet effet d'équilibrage entre le système de chauffage et le système de refroidissement élimine la nécessité de placer la chambre d'essai dans une pièce à température contrôlée. Il convient que l'intérieur de la chambre soit conçu pour que toutes les éprouvettes se trouvent à la même distance au-dessus du bain d'eau et en dessous du plafond de cette chambre. Ainsi, tous les échantillons sont soumis à la même influence de facteurs tels que les surfaces rayonnantes, la température de l'air et le degré d'humidité relative.

La Figure C.2 montre le support sur lequel sont placées 10 motorettes dans le tiroir d'une chambre de condensation. Après l'exposition à l'humidité désirée, les échantillons sont connectés pour un essai de tension à un banc d'essai à l'aide de câbles qui aboutissent aux prises situées sur la face avant des tiroirs.

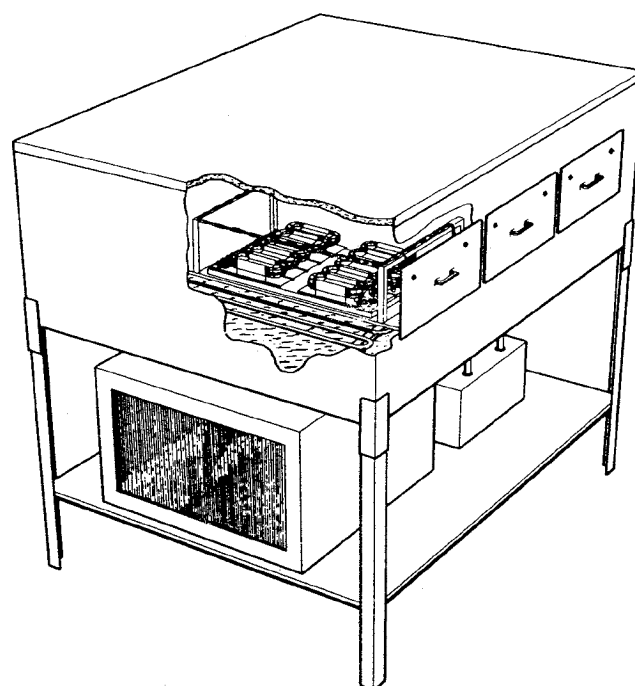
Lorsque la chambre d'essai est maintenue aux températures suivantes, il se produit une condensation uniforme:

- température du bain d'eau 30 °C
- température de l'échantillon 24 °C
- température de l'air de la chambre (25 mm au-dessus des motorettes) 25 °C
- au centre, sous le plafond de la chambre 28 °C à 29 °C.



IEC 1640/12

**Figure C.1 – Schéma illustrant le principe élémentaire de la chambre de condensation avec les éprouvettes refroidies**



IEC 1641/12

**Figure C.2 – Vue écorchée de la chambre de condensation  
avec les éprouvettes refroidies**





INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

3, rue de Varembé  
PO Box 131  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11  
Fax: + 41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)