

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Rotating electrical machines –
Part 18-31: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for
form-wound windings – Thermal evaluation and classification of insulation
systems used in rotating machines**

**Machines électriques tournantes –
Partie 18-31: Évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures
d'essai pour enroulements préformés – Évaluation thermique et classification
des systèmes d'isolation utilisés dans les machines tournantes**





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
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

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

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

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

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: 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

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

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

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

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



IEC 60034-18-31

Edition 2.0 2012-06

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Rotating electrical machines –

Part 18-31: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Thermal evaluation and classification of insulation systems used in rotating machines

Machines électriques tournantes –

Partie 18-31: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation thermique et classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines tournantes

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

U

ICS 29.160

ISBN 978-2-83220-159-6

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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 General considerations.....	8
3.1 Reference insulation system.....	8
3.2 Test procedures	8
4 Test objects and test specimens.....	9
4.1 Construction of test objects	9
4.2 Verification of effects of minor changes in insulation systems.....	9
4.3 Number of test specimens	9
4.4 Quality control	9
4.5 Initial diagnostic tests.....	10
5 Test procedures	10
5.1 Thermal ageing sub-cycle.....	10
5.2 Ageing temperatures and sub-cycle lengths	10
5.3 Method of heating.....	11
5.4 Thermal ageing of test objects.....	12
6 Diagnostic sub-cycle.....	12
6.1 Conditioning procedure	12
6.1.1 General	12
6.1.2 Mechanical conditioning	12
6.1.3 Moisture conditioning.....	13
6.2 Diagnostic tests.....	13
6.2.1 Voltage withstand test	13
6.2.2 Method	14
6.2.3 Mainwall insulation test.....	14
6.2.4 Turn insulation test.....	14
6.3 Informative tests.....	15
7 Reporting and functional evaluation of data from candidate and reference systems.....	15
7.1 General.....	15
7.2 Determining qualification	15
7.2.1 Overview	15
7.2.2 Case A: Qualification for the same class temperature and same expected service life	16
7.2.3 Case B: Qualification for the same class temperature and a different expected service life	17
7.2.4 Case C: Qualification for a different class temperature and same expected service life	18
7.2.5 Case D: Qualification for a different class temperature and different expected service life	19
7.2.6 Non-linearity of regression lines	20
7.2.7 Reduced evaluation	20
Annex A (informative) Example of test object (formette) construction	22
Bibliography.....	27

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 – Typical slot assembly.....	23
Figure A.2 – Typical slot assembly.....	24
Figure A.3 – Formette for testing DC armature coils.....	25
Figure A.4 – Test fixture for rotor slot section	26
Table 1 – Thermal classes	10
Table 2 – Recommended temperatures and ageing sub-cycle exposure periods	11
Table 3 – Conditions for qualification of candidate system	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

**Part 18-31: Functional evaluation of insulation systems –
Test procedures for form-wound windings –
Thermal evaluation and classification of insulation
systems used in rotating machines**

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 60034-18-31 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1992, and its amendment 1 (1996), of which it constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to the previous edition include:

- Definition of the test method and sub-cycles required to establish a consistent standardized platform for thermal ageing of insulation systems for form-wound windings.
- Recommendations for establishing a thermal life curve based on confidence intervals.
- Comparison of candidate and reference system performance for specific requirements of thermal class, within feasible limits.

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

FDIS	Report on voting
2/1662/FDIS	2/1671/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.

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. IEC 60034-18-1 provides general guidelines for such procedures and qualification principles. The subsequent parts IEC 60034-18-21, IEC 60034-18-31, IEC 60034-18-32, 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.

IEC 60034-18-31 describes thermal evaluation and classification of insulation systems for form-wound windings. It provides standard thermal ageing techniques and diagnostic test procedures.

Parts relevant to this document are:

- IEC 60034-18-1: General guidelines
- IEC 60034-18-21: Test procedures for wire-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) electrical insulation systems used in rotating electrical machines fed from voltage converters

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –
Part 18-31: Functional evaluation of insulation systems –
Test procedures for form-wound windings –
Thermal evaluation and classification of insulation
systems used in rotating machines

1 Scope

This part of IEC 60034 describes thermal endurance test procedures for classification of insulation systems used in a.c. or d.c. rotating electrical machines with indirect cooling and form-wound windings.

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

The test procedures described in IEC 60034-18-31 are intended to compare the thermal endurance performance of the mainwall insulation between conductor(s) and ground and, where required by the design of the coil or bar, the insulation between the turns.

The test is not intended to simulate the in-service mechanical stresses experienced by the endwinding bracing or support materials. It does not include the evaluation of thermo-mechanical deterioration by expansion and contraction of insulation during temperature cycling.

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 60034-18-31.

The thermal class for the insulation system refers to its maximum allowed ("hot spot") temperature. The average temperature measured in service should not exceed the allowed temperature rise according to IEC 60034-1.

NOTE 1 Large machines, especially synchronous generators using bars, may require special thermal evaluation test procedures which are not included in this part.

NOTE 2 Recommended parameters for the diagnostic test may be applied according to IEC 60034-18-42 to form-wound coils designed with Type II insulation systems for use in converter applications.

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 60034-15:2009, *Rotating electrical machines – Part 15: Impulse voltage withstand levels of form-wound stator coils for rotating a.c. machines*

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

IEC 60034-18-42, *Rotating electrical machines – Part 18-42: Qualification and acceptance tests for partial discharge resistant electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed from voltage converters*

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

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 60216-4-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single-chamber ovens*

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

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

3 General considerations

3.1 Reference insulation system

A reference insulation system, as described in 4.3 of IEC 60034-18-1, shall be tested using the same procedure as that used for the candidate system.

Acceptable service life of a low voltage system does not automatically qualify a high voltage (HV) system, especially since HV systems usually feature additional materials: for example corona suppression systems and enhanced turn insulation. These materials may affect the design and thermal endurance of the system.

A manufacturer may wish to qualify a new system with reduced mainwall thickness. It should be appropriate to compare the candidate to the reference by modifying the thickness or the rated voltage (U_N) of the diagnostic test, provided the test sample designs include all the specified materials and processing.

3.2 Test procedures

Each thermal endurance test consists of a series of cycles, where each cycle comprises a thermal ageing sub-cycle followed by a diagnostic sub-cycle, consisting of a conditioning procedure and a diagnostic test. The conditioning procedure shall include application of mechanical stress and moisture, in that order. The diagnostic tests are described in Clause 6.

The mechanical conditioning requires shaking the test object on a table equipped to vibrate with specified amplitude.

A condensation chamber is required for moisture conditioning of an unsealed insulation system. The condensation chamber and complete immersion are required for moisture conditioning of a sealed insulation system.

For sealed systems, the diagnostic voltage withstand test is performed while the specimens are immersed. For unsealed systems, the diagnostic voltage test may be performed outside the condensation chamber, provided that the samples are still thoroughly wetted. The voltage withstand test in either case shall be applied across the mainwall insulation and between turns, where appropriate to the design of the coil or bar. Additional voltage withstand tests may be applied as appropriate to the design.

In addition to the required tests, non-destructive informative diagnostic tests may be used to characterize the insulation system or obtain periodic measurements of its response to the thermal and diagnostic sub-cycles.

4 Test objects and test specimens

4.1 Construction of test objects

The various insulating materials and components of an insulation system to be evaluated by these test procedures should be screened beforehand. The temperature indices (TI) of insulating materials may be used, but they provide only an indication of potential performance in the thermal functional tests and do not constitute qualification of insulation systems.

Wherever feasible, test objects should closely represent the actual construction of the insulation system to be used in a rotating machine. Usually this requires coils of full cross-section with actual clearances and creepage distances, mounted in a fixture that simulates the arrangement of coils in the machine. The coils or bars are the test specimens, and the complete fixture with specimens in place is the test object.

Where the test specimens are coils or bars, they should represent the full insulation design, including insulation thickness, coil-to-coil (or bar-to-bar) clearance, and any required corona suppression or grading materials. The specimens tested shall represent the design for the intended maximum rated voltage and equipment standards.

For large and high-voltage machines, test specimens representing a partial coil or bar may be used, provided that:

- a) representative factors of influence can be applied to the test specimens to investigate ageing processes specific to that part of the system, and
- b) each material employed in the higher voltage design is represented in the test specimens, and arranged and processed on the specimens as it would be in service.

Test objects known as formettes simulate the geometry, clearance and placing of a series of form-wound coils in a winding. They have been used successfully for thermal evaluation testing. Examples of formettes are illustrated in Annex A.

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 form-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.

This 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 for the preparation of test objects should be tested separately before assembly to determine that it meets specifications. The quality tests chosen should ensure that each material is suitable for the processes required to produce the individual specimens and test object assemblies.

Defective test objects should be identified by visual examination followed by over-voltage tests consistent with the machine or coil tests used in the manufacturing facility, or as described in the appropriate subclauses for diagnostic tests, whichever is more stringent. Any widely deviating test object should be discarded or inspected to determine the reason for the deviation.

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.

4.5 Initial diagnostic tests

Each prepared test object shall be subjected to the complete sequence of tests selected for the diagnostic sub-cycle and any chosen informative tests before starting the first thermal ageing sub-cycle.

5 Test procedures

5.1 Thermal ageing sub-cycle

Experience has shown that a thermally degraded and thus usually brittle insulation system can be detected by exposure to mechanical stress, followed by exposure to moisture and voltage withstand test. Cracks produced in the aged specimens by the mechanical stress will be identified by the combination of moisture and applied voltage tests.

5.2 Ageing temperatures and sub-cycle lengths

The intended thermal class (or class temperature) of the candidate insulation system and 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 °C
105 (A)	105
120 (E)	120
130 (B)	130
155 (F)	155
180 (H)	180
200 (N)	200

NOTE 1 Thermal classes 105, 120 and 200 are rarely used in modern insulation systems and are not listed in IEC 60034-1.

Table 2 lists the recommended ageing temperatures and corresponding periods of exposure in each thermal ageing sub-cycle for insulation systems of the various thermal classes. The values in the table are derived approximately on the doubling of life for each 10 K decrease in ageing temperature. Because the thermal class of the reference system and the intended

thermal class of the candidate system may be different, the ageing temperatures and sub-cycle exposure periods should be selected appropriately.

At least three different ageing temperatures should be chosen. Although the basis for qualification is comparison of the candidate performance to that of a reference, certain minimum criteria for life should ensure that the candidate system can withstand periodic thermal excursions above the thermal class while in service. The lowest test temperature should not exceed the class temperature of the reference system by more than 25 K and should produce a mean test life of at least 5 000 h, and the highest temperature should produce a mean test life of at least 100 h. The ageing temperatures should be separated by intervals of at least 20 K. If more than three temperatures are used, the interval may be reduced to 10 K.

The lengths of ageing sub-cycles should be selected to give a mean life of about 10 cycles for each ageing temperature.

Table 2 is designed to permit laboratories to choose ageing times and temperatures to optimize labour and facilities. To permit comparison of the systems, any variations to the cycles shall be applied equally to all specimens.

To perform a reduced evaluation, the middle ageing temperature cycle may be used to obtain data more quickly.

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

Anticipated thermal class	105		120		130		155		180		200		
$T_1 < T_A \leq T_2$	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	Days per ageing sub-cycle
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 2 Ageing sequences may be designed to accommodate a 5-day working week. For example, an ageing sub-cycle would always start on a Friday and the diagnostic tests on a Monday (e.g. 3, 10, 17, 31 and 59 days of ageing).

5.3 Method of heating

Experience has shown that ovens provide a convenient and economical method of thermal ageing (see IEC 60216-4-1). The oven subjects all the parts of the insulation system to the full ageing temperature, while in actual service a large proportion of the insulation can operate at considerably lower temperatures than the hot-spot temperature. Ageing temperatures shall be controlled and held constant within ± 2 K up to 180 °C and ± 3 K above 180 °C up to 300 °C.

Where ovens are not feasible or do not adequately represent the conditions of service, alternative heating methods are permitted. Examples of more direct means of heating to closely simulate certain service conditions include:

- direct heating by electric current applied to the specimen leads;
- application of flexible heaters to the test specimens.

Some materials may 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. Ideally, the concentration of the decomposition products should not change with the ageing temperature but in practical testing this can be unrealistic. The products of decomposition are likely to remain near the insulation during oven ageing whereas they can be carried away by ventilation in actual operation. The same conditions of oven ventilation and rate of replacement of air during thermal ageing shall be maintained for both the candidate and the reference systems.

5.4 Thermal ageing of test objects

When ovens are used, the test objects should be loaded directly from a room temperature air environment at the beginning of the ageing sub-cycle into a pre-heated oven. If the oven is not pre-heated, the rate of temperature increase should be controlled and consistent between each cycle at each temperature. The purpose is to prevent thermal shock in each cycle.

The thermal ageing sub-cycle of the test objects begins as soon as a calibrated temperature detector placed on the surface of the insulation on the most shielded area of the test object reaches the ageing temperature.

Test objects should be removed from the oven directly to room-temperature air at the end of the sub-cycle, or cooled by other appropriate means, to subject them to uniform thermal shock on cooling. The ageing sub-cycle ends as soon as the source of heat is removed, or when the test objects are removed from the oven to ambient conditions. After the thermal ageing sub-cycle, the test objects are allowed to cool in air to room temperature before starting the diagnostic sub-cycle.

6 Diagnostic sub-cycle

6.1 Conditioning procedure

6.1.1 General

Following each sub-cycle of thermal ageing, each test specimen shall be subjected to a series of conditioning sub-cycles, including mechanical stress and moisture exposure.

The tests will be applied using a consistent order and procedure with every cycle. The sequence and detailed parameters of the diagnostic sub-cycles shall be recorded.

6.1.2 Mechanical conditioning

The procedure for applying mechanical stress may be designed to accommodate specific types of test objects and the intended service. The mechanical stress is applied to test objects at room temperature and without applied voltage.

A widely used method for applying mechanical stress is by vibration of the test specimen endwindings. Each test object is mounted on a horizontal shaking table and subjected to oscillation at 50 Hz or 60 Hz for 1 h. The motion of the table should be normal to the plane of the test specimens so that the coil ends will vibrate radially, as expected under the end winding forces typical of an actual rotating machine.

Where complete machines are used as test objects, a start-stop or reversing cycle may be used to apply mechanical stress to the windings instead of the shaking table. The procedure should be designed to accommodate the increase in severity of the stress with increasing machine size.

The preferred peak-to-peak amplitude of vibration is 0,2 mm at 60 Hz or 0,3 mm at 50 Hz. This amplitude corresponds to an acceleration of approximately 1,5 times the acceleration of gravity (i.e., 15 m/s²).

6.1.3 Moisture conditioning

6.1.3.1 Overview

The combination of moisture and electrical stress often strongly affects the properties of electrical insulation. The absorption of moisture by solid insulation gradually increases dielectric loss, reduces insulation resistance and contributes to a decrease in electric strength. Cracks and porosity can be more easily detected by elevated voltage when moisture is deposited on the insulation surfaces.

Moisture is deposited on the surface of each test specimen so that all exposed surfaces are completely wetted. For unsealed insulation systems, the moisture is applied in a controlled, high-humidity environmental chamber. For sealed insulation systems, moisture is applied in a controlled, high-humidity environmental chamber followed by complete immersion of the test objects in water.

Experience has shown that at least 48 h of exposure is required for moisture to penetrate the winding and stabilize the insulation resistance level. This degree of moisture exposure demonstrates a more severe condition than is met in normal service.

6.1.3.2 Humidity method

A visible and continuous moisture deposit may be achieved by enclosing the test object in a humidity or condensation chamber. Each test object shall be exposed to humidity for at least 48 h, which is sufficient to produce a visible moisture deposit on all exposed surfaces. The temperature of the test objects should be $25\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ and the actual temperature recorded. No voltage is applied during the exposure period. If necessary for safety requirements, the test object may be removed from the condensation chamber before applying the withstand voltage test.

6.1.3.3 Water immersion method

Each of the test specimens in a test object should be subjected to humidification exposure and subsequent voltage exposure according to 6.4.1.

Immediately following the voltage exposure after humidification, each of the specimens in a test object shall be immersed, including the lead connections of each specimen, for a period of 30 min in tap water at room temperature containing a non-ionic wetting agent (surfactant) in sufficient concentration to reduce the surface tension to no greater than $3,1\text{ µN/m}$ at 25 °C .

After 30 min, while the test objects are still submerged, a voltage shall be applied to the test specimens as described in 6.4.1. Following the voltage test, the test objects shall be rinsed in tap water without any added wetting agent. The units shall be allowed to dry in room temperature air, preferably overnight, before starting the next thermal ageing sub-cycle.

Before applying the voltage test it may be useful and informative to measure the insulation resistance (IR) of the test object using a voltage chosen for the insulation system voltage rating.

A sealed system test requires special construction of the sample leads to permit voltage testing of the samples while they are immersed. Long leads or those specially extended to clear the water surface may require additional bracing to prevent cracking at their base when subjected to the mechanical test.

6.2 Diagnostic tests

6.2.1 Voltage withstand test

An elevated voltage withstand test is used to check the condition of the specimens and determine the end of test life. The test is performed at room temperature, and the actual

ambient temperature shall be recorded. The test voltage is specified according to the insulation voltage rating. When power frequency voltage is specified, the frequency shall be 45 Hz – 65 Hz (as defined in IEC 60060-1).

The test equipment shall be capable of applying a sufficiently high voltage stress to reveal a failure. The test voltage is applied to determine the condition of the test specimens and the end of test life.

Failure is indicated by insulation breakdown. Failure in any component of the insulation system constitutes failure of the entire test specimen. The failure location may be determined by re-applying the voltage gradually from zero; failed specimens will not be able to hold the voltage. Excess current, localized heating or smoke may also be observed. Minor surface sparking and electrical discharge occurring during the voltage test should be recorded but do not constitute a failure.

6.2.2 Method

It is important to test each part of the insulation system separately to identify areas that may have cracked and/or delaminated during the thermal and mechanical stress cycles. The voltage shall be applied in the following manner and sequence:

- between turns of the test specimen, where multi-turn specimens are used (as a test of the insulation between turns), and
- between the test specimens and the frame of the test object (as a test of the mainwall insulation).

6.2.3 Mainwall insulation test

For the test of the mainwall insulation, the frame of the test object shall be earthed. To aid in identifying coil failure sites resulting from the mainwall insulation test, each sample within the frame may be tested individually, provided that the frame and other samples within it are earthed.

For unsealed systems and for sealed systems following the humidity chamber exposure and before immersion, a power frequency test voltage at approximately room temperature shall be applied for 1 min while test specimens are still wet from exposure, i.e., there is visible moisture on all surfaces of the coil. The power-frequency test voltage level should be $2 U_N$ or 1 000 V, whichever is higher. U_N is the intended maximum rated voltage of the insulation system under test.

For immersed sealed system test specimens, a power frequency test voltage of $1,15 U_N$ is applied for 1 min between coil and frame. The potential of the aqueous solution and frame shall be equal during the test.

Optionally, a coil-to-coil test may be performed in which the frame and the coil(s) adjacent to the test coil are earthed and the power frequency test is applied. The dimensions shown in the fixture diagrams are intended for tests of the mainwall insulation to ground. It will be necessary to design a special arrangement for the coil-to-coil test.

6.2.4 Turn insulation test

Three test object configurations are proposed to allow a test of the insulation between turns:

- Samples with two parallel turns with full turn insulation around each strand, placed back to back and with ends splayed, where a.c. voltage can be applied to one turn with the other earthed. An example is shown in IEC 60034-18-42. For sealed and unsealed systems, the voltage magnitude of the a.c. voltage test shall be 0,2 multiplied by the peak value of U_N , plus 1 kV, for 60 s.

- Diamond coils (i.e., shaped as for insertion in stator slots) with two parallel turns wound side by side and with full turn insulation around each turn. The high voltage and earthed connections can be made at either end of the coil because the turns are separate. This configuration can be tested with either a.c. or impulse voltage. For sealed and unsealed systems, the voltage magnitude of the a.c. and impulse voltage tests shall be 0,2 multiplied by the peak value of U_N , plus 1 kV. An a.c. test on a parallel-turn sample is applied for 60 s, with one turn earthed during the test. If an impulse test voltage is applied, it is done using the steep-fronted rise time and number of pulses per application given in IEC 60034-15 (Table 1).
- Coils representing standard production with a single continuous wire bundle, wound in turns. The parallel turns should have the specified turn insulation design. This sample type requires an impulse test voltage applied using the steep-fronted rise time and number of pulses per application given in IEC 60034-15 (Table 1).

6.3 Informative tests

Non-destructive measurements of insulation condition may be taken periodically. These measurements take place after the voltage withstand test and before beginning the next thermal ageing sub-cycle. Test objects should be thoroughly dry and at room temperature when obtaining informative test measurements. Changes observed in these measurements between sub-cycles may offer valuable information about the ageing process in the insulation system. Some common tests that may be of value to assess insulation condition include:

- insulation resistance (IR) and leakage current,
- loss tangent ($\tan \delta$, also called dissipation factor, or DF) and capacitance,
- partial discharge inception voltage (PDIV),
- behaviour of insulation system under repetitive surge conditions.

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_{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): 1. Confidence interval of candidate system shall overlap or exceed the confidence interval of the reference system. 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.

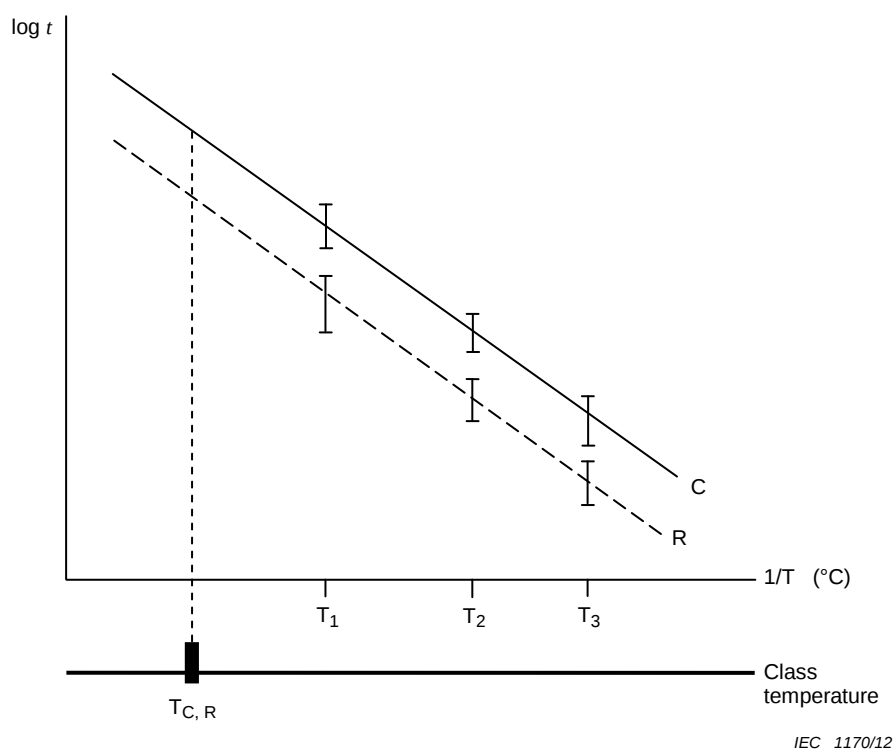


Figure 1 – Candidate system qualified for the same thermal class and the same expected service life

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 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.

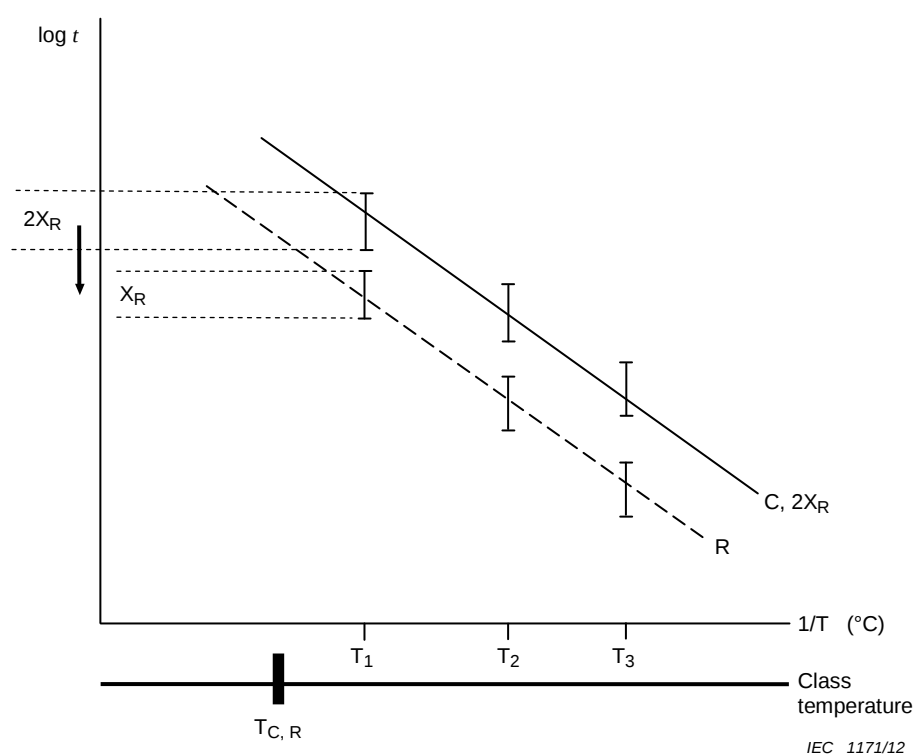


Figure 2 – Candidate system qualified for the same thermal class and different expected service life

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.

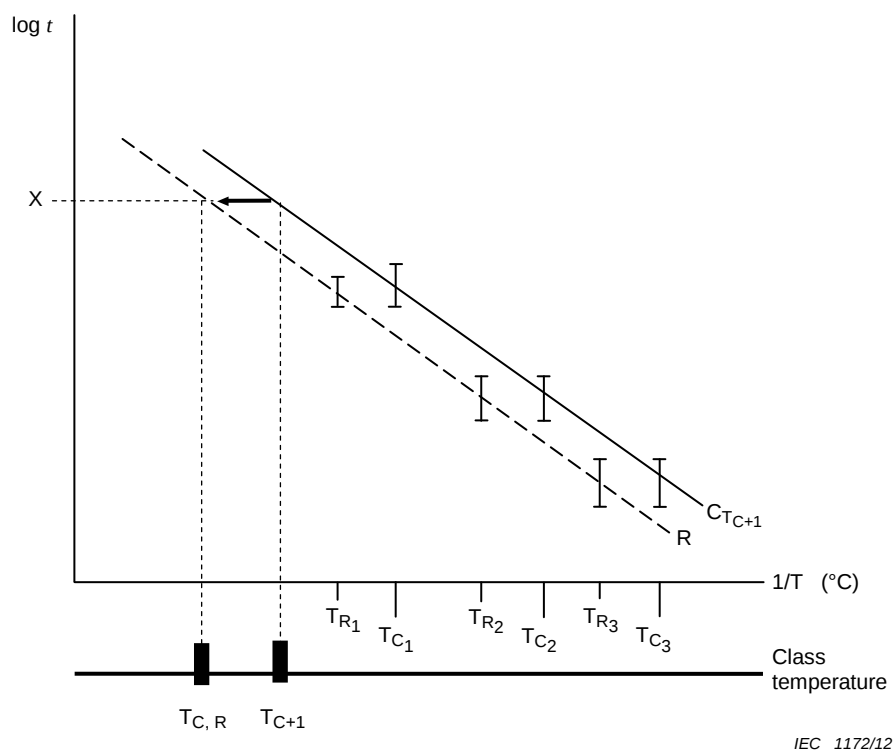
If there exists the possibility of thermal overloading of the insulation system while in service, the qualification requirements for the candidate system should be evaluated as in case A, where the candidate system lifetime is equal to or better than that of the reference system across the test temperature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



IEC 1172/12

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.

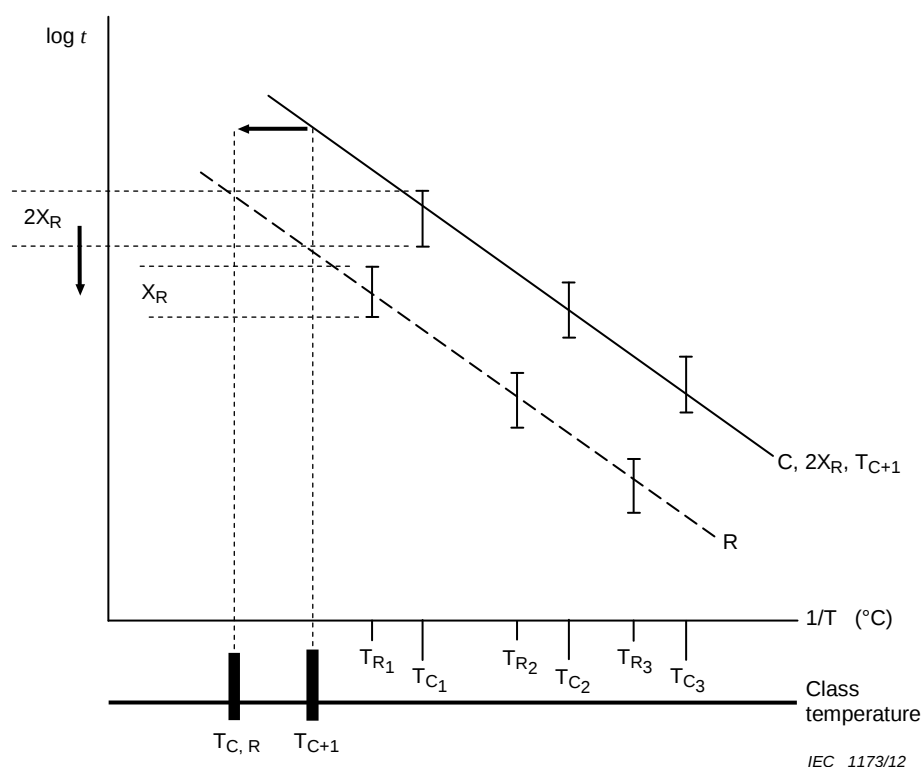


Figure 4 – Candidate system qualified for a different service life and different thermal class from the reference

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.

Annex A (informative)

Example of test object (formette) construction

- A.1** Different models may be employed to cover the range of machines included in this test procedure.

Figures A.1, A.2, A.3 and A.4 show the construction of test objects ("formettes") that have been used successfully in thermal endurance tests to evaluate and classify insulation systems.

- A.2** Figures A.1 and A.2 show a typical slot assembly. Formettes of this size have been used to evaluate and classify insulation systems of AC machine stators rated up to 10 MW and 7 kV. Test objects that will be immersed in water and tested while immersed should be designed with long leads extending above the surface of the water. The insulation of these leads is not considered part of the insulation system under evaluation. However, additional support for these leads should be provided during the vibration phase of the diagnostic sub-cycle. Excessive movement of the leads can cause cracking at the bend point where they join the coil.

- A.3** For systems > 7 kV, increased clearance between specimens and to the test object frame may be required. Additional space for blocking, lashing and bracing may also be needed. Given the limited size of most formette ovens, it may be difficult to fit at least 5 specimens per test object. It may be necessary to modify the design of the higher voltage test object by shortening the specimens.

A.4 General

- A.4.1** Figures A.3 and A.4 show a formette that may be used in cases where centrifugal forces are present (e.g. rotating armature of a direct current machine, or the rotor of a synchronous machine). The fixture is made by:

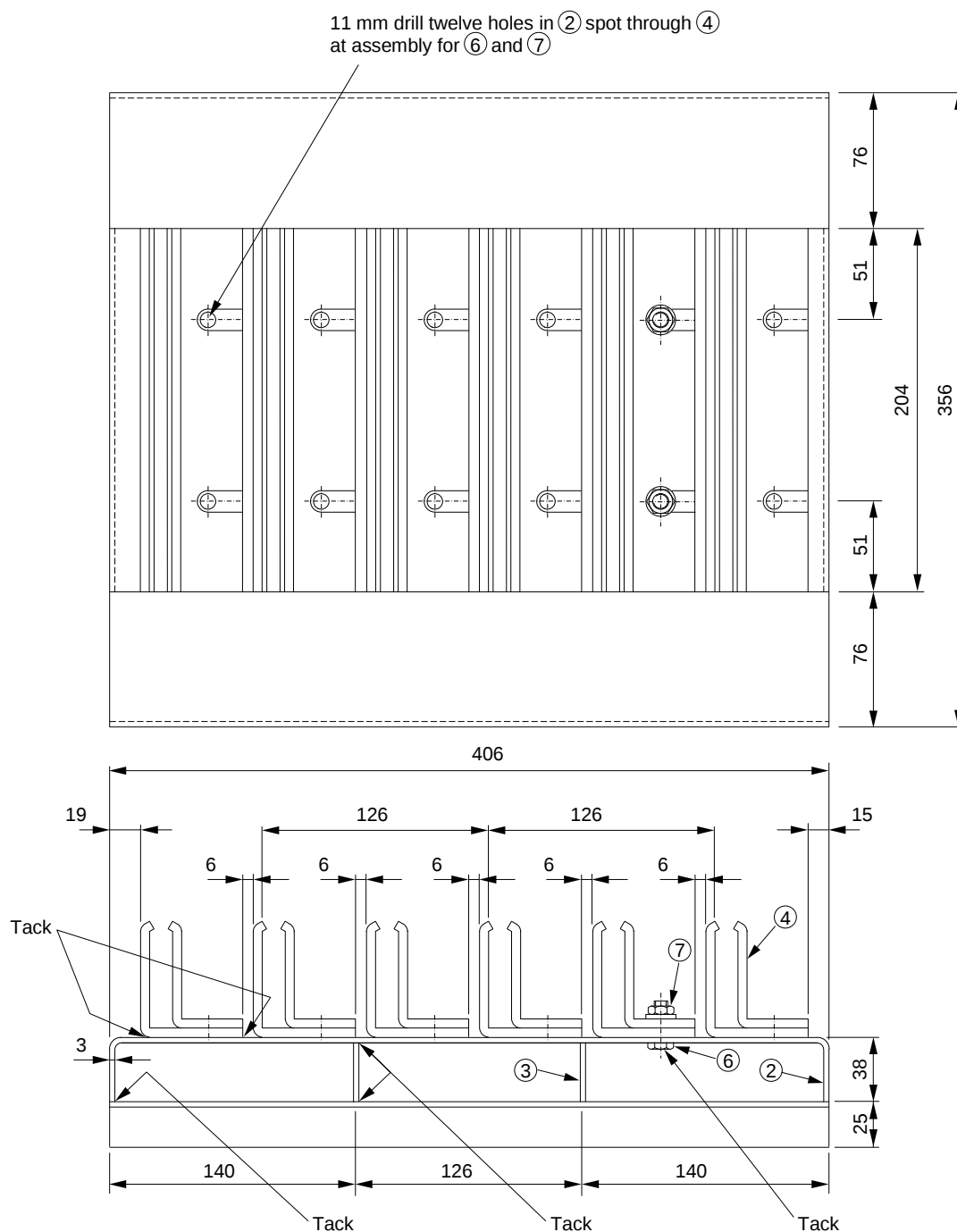
- milling slots into a block of steel, or
- punching rectangular notches into laminations and stacking the laminations to obtain the proper slot length, and then welding or bolting to secure the assembly.

The latter technique approaches more closely an actual machine assembly with possible burrs on punching edges and with slot stagger producing irregularities in the slot profile which may be important when, for example, totally impregnated (post-impregnated) windings will be simulated. However, this type of fixture may be more costly than that made by milling.

- A.4.2** If both sides of the coil are to be inserted into slots as in an actual winding, the coils will need to be designed accordingly. A formette frame may be used if only one coil side is to be inserted, or if bars or half coils will be used.
- A.4.3** The effect of centrifugal loading on the coil insulation is simulated by applying a rigid, profiled steel plate (Figures A.3 and A.4) on to the slotted portion of the test fixture. For armatures employing core bands, the axial ridges on the steel plate are interrupted to simulate the spot loading of the band on the coil.
- A.4.4** The plate in Figure A.3 and the bars over the end windings in Figure A.4 are bolted to the fixture base with springs supplying the required follow-up force to simulate centrifugal forces over a distributed area. The springs should be previously

calibrated so that the desired pressure can be adjusted through proper compression by bolting.

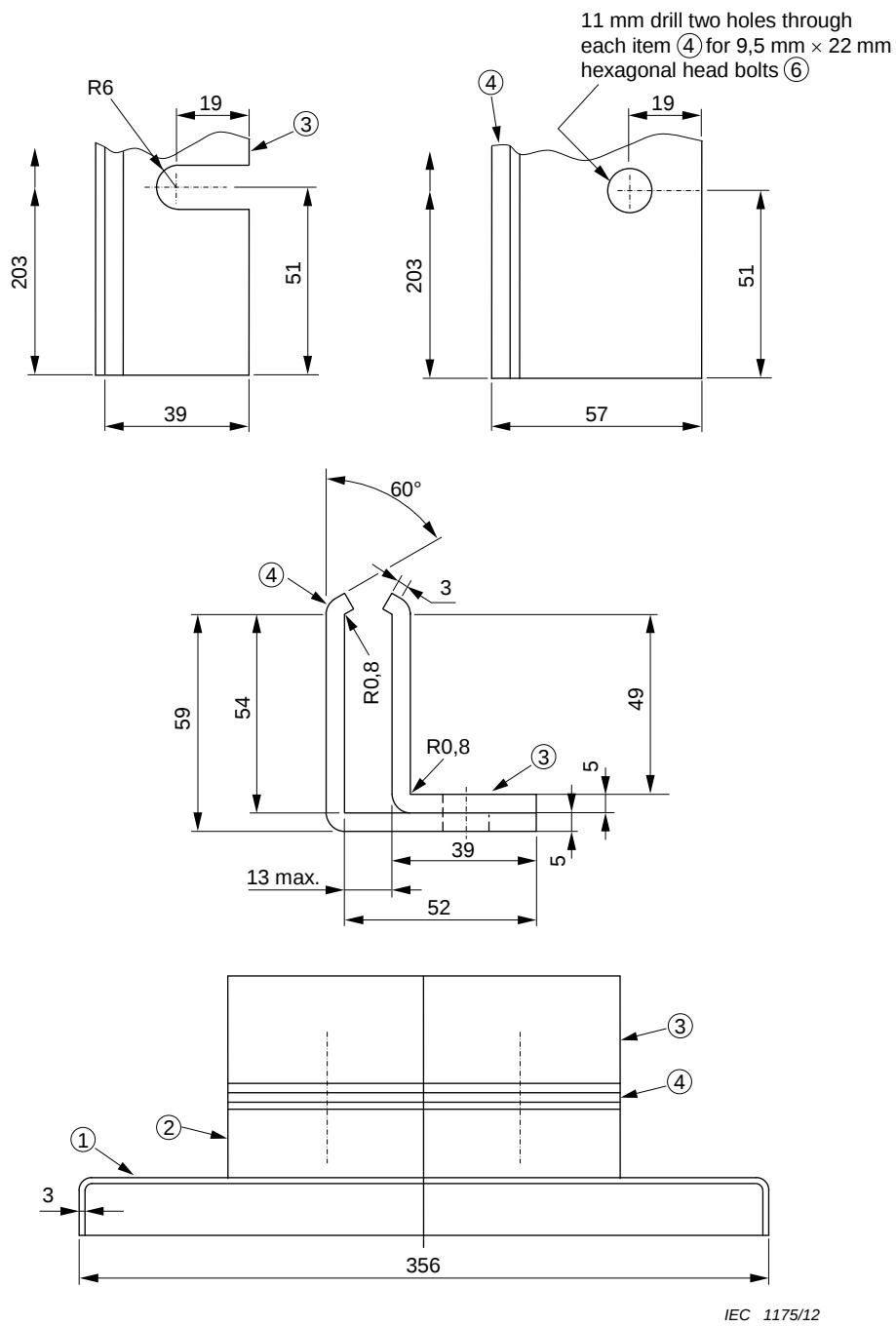
NOTE Springs should be selected to withstand the subsequent exposure to the thermal ageing temperatures, mechanical stress tests, and moisture tests, without change of spring constant, or other adverse effects.



IEC 1174/12

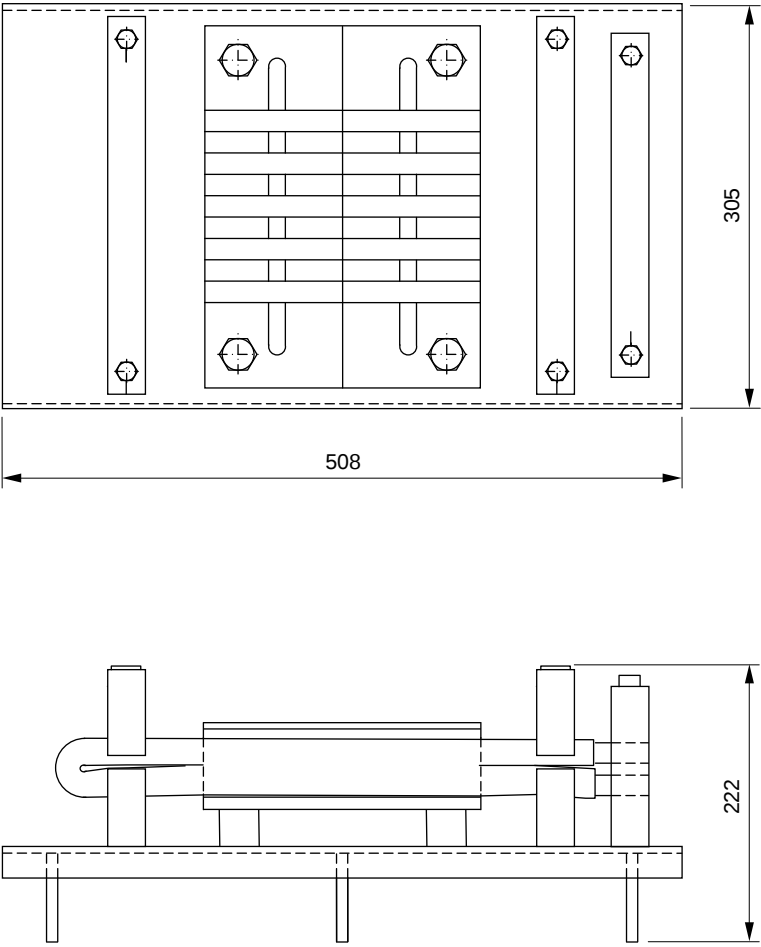
Dimensions in millimetres

Figure A.1 – Typical slot assembly



Dimensions in millimetres

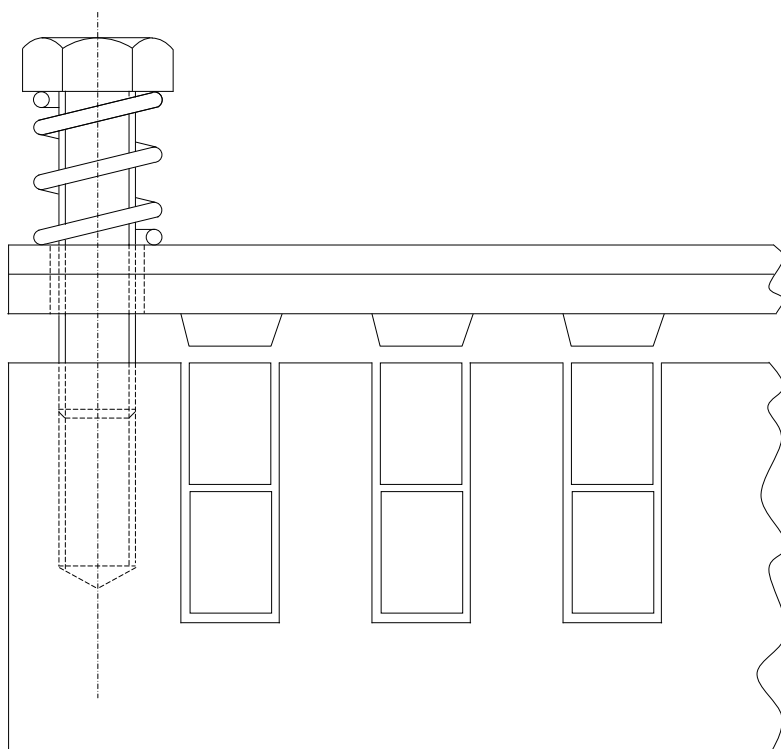
Figure A.2 – Typical slot assembly



IEC 1176/12

Dimensions in millimetres

Figure A.3 – Formette for testing DC armature coils



IEC 1177/12

Figure A.4 – Test fixture for rotor slot section

Bibliography

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	30
INTRODUCTION.....	32
1 Domaine d'application	33
2 Références normatives.....	33
3 Considérations générales	34
3.1 Système d'isolation de référence.....	34
3.2 Procédures d'essai.....	34
4 Eprouvettes et échantillons	35
4.1 Fabrication des éprouvettes	35
4.2 Vérification des effets causés par des changements mineurs dans les systèmes d'isolation	35
4.3 Nombre d'échantillons	36
4.4 Vérification de la qualité	36
4.5 Essais de diagnostic initiaux.....	36
5 Procédures d'essai	36
5.1 Sous-cycle de vieillissement thermique	36
5.2 Températures de vieillissement et durées des sous-cycles.....	36
5.3 Moyens de chauffage	38
5.4 Vieillissement thermique des éprouvettes.....	38
6 Sous-cycle de diagnostic.....	39
6.1 Procédure de conditionnement	39
6.1.1 Généralités.....	39
6.1.2 Conditions mécaniques.....	39
6.1.3 Conditionnement à l'humidité.....	39
6.2 Essais de diagnostic.....	41
6.2.1 Essai de tenue en tension	41
6.2.2 Méthode	41
6.2.3 Essai de l'isolation principale.....	41
6.2.4 Essai de l'isolation entre spires	42
6.3 Essais informatifs	42
7 Rapport et évaluation fonctionnelle des données issues des systèmes candidat et de référence.....	42
7.1 Généralités.....	42
7.2 Procédure de qualification	43
7.2.1 Présentation générale	43
7.2.2 Cas A: Qualification pour la même température de classe et la même durée de vie utile prévue	43
7.2.3 Cas B: Qualification pour la même température de classe et une durée de vie utile prévue différente.....	44
7.2.4 Cas C: Qualification pour une température de classe différente et la même durée de vie utile prévue.....	45
7.2.5 Cas D: Qualification pour une température de classe différente et une durée de vie utile prévue différente	46
7.2.6 Non-linéarité des droites de régression	47
7.2.7 Evaluation réduite.....	48

Annexe A (informative) Fabrication d'une formette (exemple)	49
Bibliographie.....	54
Figure 1 – Système candidat qualifié pour la même classe thermique et la même durée de vie utile prévue	44
Figure 2 – Système candidat qualifié pour la même classe thermique et une durée de vie utile prévue différente.....	45
Figure 3 – Système candidat qualifié pour une température de classe différente et la même durée de vie utile prévue	46
Figure 4 – Système candidat qualifié pour une durée de vie utile différente et une classe thermique différente du système de référence.....	47
Figure A.1 – Montage d'encoche type	50
Figure A.2 – Montage d'encoche type	51
Figure A.3 – Formette pour essais de bobines d'induit CC	52
Figure A.4 – Bâti d'essai pour section d'encoche de rotor	53
Tableau 1 – Classes thermiques	37
Tableau 2 – Températures et durées recommandées de sous-cycle de vieillissement.....	38
Tableau 3 – Conditions relatives à la qualification du système candidat.....	43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18-31: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation thermique et classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines tournantes

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 60034-18-31 a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition publiée en 1992 et son amendement 1 (1996) dont elle constitue une révision technique.

Les principales modifications techniques par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- Définition de la méthode d'essai et des sous-cycles requis pour établir une plate-forme normalisée et cohérente applicable au vieillissement thermique des systèmes d'isolation des enroulements préformés.

- Recommandations pour établir une courbe de durée de vie thermique fondée sur des intervalles de confiance.
- Comparaison des performances des systèmes candidats et de référence en fonction d'exigences spécifiques de classe thermique, dans des limites réalisables.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
2/1662/FDIS	2/1671/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 figure sur la page d'accueil du CE 2 de la CEI, sur le site web de la CEI.

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.

INTRODUCTION

La CEI 60034-18 comprend plusieurs parties, traitant de différents types d'évaluation fonctionnelle et de procédures d'essai spécifiques aux systèmes d'isolation de machines électriques tournantes. La CEI 60034-18-1 donne des principes directeurs généraux relatifs à ces types de procédures et principes de qualification. Les autres parties CEI 60034-18-21, CEI 60034-18-31, CEI 60034-18-32, CEI 60034-18-33, CEI 60034-18-34, CEI 60034-18-41 et CEI 60034-18-42 spécifient des procédures particulières applicables aux différents types d'enroulements.

La CEI 60034-18-31 décrit l'évaluation thermique et la classification des systèmes d'isolation des enroulements préformés. Elle spécifie les techniques normalisées de vieillissement thermique et les procédures d'essai de diagnostic.

Les parties applicables au présent document sont:

- CEI 60034-18-1: Principes directeurs généraux
- CEI 60034-18-21: Procédures d'essai pour enroulements à fils
- 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 des machines électriques tournantes alimentées par convertisseurs de tension

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18-31: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation thermique et classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines tournantes

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60034 décrit les procédures d'essai d'endurance thermique pour la classification des systèmes d'isolation utilisés dans les machines électriques tournantes à courant alternatif ou continu, à refroidissement indirect et à enroulements préformés.

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

Les procédures d'essai décrites dans la CEI 60034-18-31 permettent de comparer les performances d'endurance thermique de l'isolation principale entre le (ou les) conducteur(s) et la terre, et si requis par la conception de la bobine ou de la barre, l'isolation entre spires.

L'essai n'a pas pour objet de simuler les contraintes mécaniques exercées en service sur le renforcement de l'extrémité des enroulements ou les matériaux de support. Il ne comprend pas l'évaluation de la détérioration thermomécanique provoquée par la dilatation et la contraction de l'isolation pendant le cycle de température.

La CEI 60034-18-1 décrit des principes généraux d'essais applicables aux essais d'endurance thermique des systèmes d'isolation des machines électriques tournantes. Sauf indication contraire dans la CEI 60034-18-31, les principes de la CEI 60034-18-1 sont suivis.

La classe thermique applicable au système d'isolation correspond à sa température maximale admissible ("point chaud"). Il convient que la température moyenne mesurée en service ne dépasse pas l'échauffement admis conformément à la CEI 60034-1.

NOTE 1 Les grosses machines, en particulier celles qui sont fabriquées à partir de barres, peuvent nécessiter des procédures spéciales d'essai pour l'évaluation thermique, qui ne sont pas incluses dans la présente partie.

NOTE 2 Les paramètres recommandés pour l'essai de diagnostic peuvent être appliqués conformément à la CEI 60034-18-42 aux bobines préformées conçues avec des systèmes d'isolation de Type II pour utilisation avec des convertisseurs.

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 60034-15:2009, *Machines électriques tournantes – Partie 15: Niveaux de tenue au choc électrique des bobines de stator préformées des machines tournantes à courant alternatif*

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

CEI 60034-18-42, *Machines électriques tournantes – Partie 18-42: Essais de qualification et d'acceptation des systèmes d'isolation électrique résistants aux décharges partielles (Type II) utilisés dans des machines électriques tournantes alimentées par convertisseurs de tension*

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales relatives aux essais*

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 60216-4-1: *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 4-1: Etuves de vieillissement – Etuves à une seule chambre (disponible en anglais seulement)*

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 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, tel que décrit en 4.3 de la CEI 60034-18-1, doit être soumis à essai conformément à la même procédure que pour le système candidat.

La durée de vie utile acceptable d'un système basse tension ne qualifie pas automatiquement un système haute tension (HT), notamment du fait que les systèmes HT se caractérisent généralement par des matériaux supplémentaires: par exemple, systèmes de suppression des effets corona et isolation renforcée entre spires. Ces matériaux peuvent avoir une incidence sur la conception et l'endurance thermique du système.

Un fabricant peut souhaiter qualifier un nouveau système comportant une épaisseur de paroi principale réduite. Il convient alors de comparer le système candidat au système de référence en modifiant l'épaisseur ou la tension assignée (U_N) de l'essai de diagnostic, à condition que les conceptions des échantillons comprennent tous les matériaux et traitements spécifiés.

3.2 Procédures d'essai

Chaque essai d'endurance thermique est réalisé sous forme de cycles, chaque cycle comprenant un sous-cycle de vieillissement thermique et un sous-cycle de diagnostic comportant une procédure de conditionnement et un essai de diagnostic. La procédure de conditionnement doit comprendre un essai d'application de contrainte mécanique et un essai d'humidité, réalisés dans cet ordre. Les essais de diagnostic sont décrits à l'Article 6.

Le conditionnement mécanique consiste à soumettre l'éprouvette à des vibrations en la plaçant sur une table équipée d'un dispositif de vibration à une amplitude spécifiée.

Le conditionnement à l'humidité d'un système d'isolation non étanche nécessite d'utiliser une chambre de condensation. Le conditionnement à l'humidité d'un système d'isolation étanche nécessite d'utiliser une chambre de condensation et de procéder à une immersion complète.

Pour les systèmes étanches, l'essai de tenue en tension de diagnostic est réalisé en immergeant les échantillons. Pour les systèmes non étanches, l'essai de tension de diagnostic peut être réalisé à l'extérieur de la chambre de condensation, à condition que les

échantillons soient encore bien humides. Dans l'un ou l'autre cas, l'essai de tenue en tension doit être réalisé sur l'isolation d'appui et entre spires, selon le cas approprié à la conception de la bobine ou de la barre. Des essais de tenue en tension supplémentaires peuvent être réalisés en fonction de la conception considérée.

En complément aux essais requis, des essais de diagnostic informatifs non destructifs peuvent être réalisés pour caractériser le système d'isolation ou obtenir des mesures périodiques de sa réponse aux sous-cycles thermiques et de diagnostic.

4 Epreuves et échantillons

4.1 Fabrication des épreuves

Il convient que les différents matériaux isolants ou composants d'un système d'isolation à évaluer au moyen de ces procédures d'essai fassent l'objet d'un premier tri. Les indices de température (TI - temperature indice) des matériaux isolants peuvent être utilisés, mais ils ne sont considérés qu'à titre indicatif pour procéder aux essais fonctionnels thermiques et ne peuvent pas être utilisés pour qualifier les systèmes d'isolation.

Dans toute la mesure du réalisable, il convient que les épreuves soient les plus représentatives possible de la fabrication réelle du système d'isolation à utiliser dans une machine tournante. Généralement, ceci exige d'utiliser des bobines à section entière présentant des distances d'isolement dans l'air et des lignes de fuite réelles, et montées sur un bâti qui simule la disposition des bobines dans la machine. Les bobines ou les barres représentent les échantillons, et le bâti complet avec les échantillons installés constitue l'épreuve.

Lorsque les échantillons sont des bobines ou des barres, il convient qu'ils représentent la conception d'isolation complète, y compris l'épaisseur d'isolation, la distance d'isolement entre bobines (ou entre barres) et tous matériaux requis de suppression des effets corona ou de contrôle de champ. Les échantillons soumis à essai doivent représenter la conception applicable à la tension assignée maximale prévue et aux normes de matériel.

Pour les grosses machines à haute tension, on peut utiliser des échantillons représentant une partie d'une bobine ou d'une barre, à condition que:

- a) les facteurs d'influence représentatifs puissent être appliqués aux échantillons afin d'examiner les processus de vieillissement spécifiques à la partie considérée du système, et
- b) chaque matériau utilisé dans la conception de tension plus élevée soit représenté dans les échantillons, et disposé et traité sur les échantillons comme il le serait en service.

Les épreuves, appelées «formettes», simulent la géométrie, la distance d'isolement et la disposition d'une série de bobines préformées dans un enroulement. Elles se sont révélées satisfaisantes pour les essais d'évaluation thermique. Dans l'Annexe A sont représentés des exemples de formettes.

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

Une modification mineure est décrite dans la CEI 60034-18-1. Une modification mineure dans un système d'isolation préformé peut par exemple consister à acheter la matière d'un composant clé auprès d'un nouveau fournisseur sans modifier la spécification du matériau. Si l'évaluation du vieillissement thermique permet d'évaluer un changement mineur apporté à un système éprouvé en service, il est admis d'appliquer une température pour l'essai de vieillissement d'une épreuve ne comportant pas plus que le nombre recommandé d'échantillons.

Il convient de réaliser cette évaluation réduite en appliquant un cycle de température de vieillissement compris dans l'étendue des données d'endurance thermique connue applicable au système éprouvé en service.

4.3 Nombre d'échantillons

Il convient que les essais portent sur au moins cinq échantillons pour chaque température de vieillissement et pour chaque système d'isolation. Il s'agit du nombre minimal recommandé pour un niveau de confiance statistique.

4.4 Vérification de la qualité

Il convient que chaque matériau isolant destiné à la préparation des éprouvettes soit soumis à des essais séparés pour déterminer leur conformité aux spécifications avant de les utiliser dans un assemblage. Il convient que les essais de vérification de la qualité choisis permettent de s'assurer que chaque matériau convient aux processus requis pour produire chacun des assemblages d'échantillons et d'éprouvettes.

Il convient d'identifier les éprouvettes défectueuses par un examen visuel, suivi par 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 retirant l'essai de tension le plus contraignant. Il convient que toute éprouvette présentant des écarts importants soit mise au rebut ou examinée pour déterminer les raisons de cet écart.

NOTE Si nécessaire, il est possible de réaliser 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.

4.5 Essais de diagnostic initiaux

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

5 Procédures d'essai

5.1 Sous-cycle de vieillissement thermique

L'expérience a montré que le meilleur diagnostic pour l'évaluation d'un système d'isolation ayant subi une dégradation thermique, et étant donc devenu généralement fragile, était de le soumettre à une contrainte mécanique, puis de l'exposer à l'humidité et enfin d'appliquer un essai de tenue en tension. Les fissures constatées sur les échantillons ayant subi l'essai de vieillissement et dues aux contraintes mécaniques sont identifiées en combinant l'application d'humidité et les essais de tension.

5.2 Températures de vieillissement et durées des sous-cycles

La classe thermique attendue (ou température de classe) du système d'isolation candidat ainsi que la classe connue du système de référence doivent être choisies dans le Tableau 1, issu des classes thermiques définies dans la CEI 60085 et la CEI 60505.

Tableau 1 – Classes thermiques

Caractéristiques assignées de classe thermique	Classe thermique °C
105 (A)	105
120 (E)	120
130 (B)	130
155 (F)	155
180 (H)	180
200 (N)	200

NOTE 1 Les classes thermiques 105, 120 et 200 sont rarement utilisées dans les systèmes d'isolation modernes, et ne sont pas répertoriées dans la CEI 60034-1.

Le Tableau 2 récapitule les températures de vieillissement recommandées et les périodes correspondantes d'exposition de chaque sous-cycle de vieillissement thermique pour les systèmes d'isolation des diverses classes thermiques concernées. Les valeurs du tableau sont dérivées approximativement en doublant la durée de vie pour chaque diminution de 10 K de la température de vieillissement. Si la classe thermique prévue du système d'isolation candidat diffère de celle, connue, du système de référence, il convient de sélectionner, de façon appropriée, les températures de vieillissement et les durées de sous-cycles.

Il convient de choisir au moins trois températures de vieillissement différentes. Bien que la qualification se fonde sur la comparaison des performances du système candidat avec celles du système de référence, il convient cependant qu'un certain nombre de critères de durée de vie garantissent que le système candidat peut supporter en service des écarts thermiques périodiques supérieurs à la classe thermique considérée. Il convient que la température d'essai la plus basse ne dépasse pas la température de classe du système de référence de plus de 25 K et permette d'obtenir une durée de vie en essai moyenne d'au moins 5 000 h. Il convient d'autre part que la température la plus élevée permette d'obtenir une durée de vie en essai moyenne d'au moins 100 h. Il convient que les températures de vieillissement soient séparées par un écart d'au moins 20 K. Un intervalle de 10 K peut convenir lorsque les essais sont effectués à plus de trois températures de vieillissement.

Il convient que les durées des sous-cycles de vieillissement soient sélectionnées pour correspondre à une durée de vie moyenne d'environ 10 cycles pour chaque température de vieillissement.

Le Tableau 2 a été établi de façon à donner aux laboratoires une certaine souplesse pour choisir les durées et les températures de vieillissement de façon à optimiser l'utilisation de leurs installations et de leurs effectifs. Pour assurer la comparaison des systèmes, tout écart par rapport aux cycles doit être appliqué de la même manière à tous les échantillons.

Pour réaliser une évaluation réduite, il est possible d'utiliser le cycle de température de vieillissement moyen pour obtenir les données requises plus rapidement.

Tableau 2 – Températures et durées recommandées de sous-cycle de vieillissement

Classe thermique prévue	105		120		130		155		180		200		
$T_1 < T_A \leq T_2$	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	Jours par sous-cycle de vieillissement
Plage suggérée de températures 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 2 Les séquences de vieillissement peuvent être conçues pour s'adapter à une semaine ouvrable de cinq jours. Cela implique par exemple de commencer un sous-cycle de vieillissement un vendredi et de passer aux essais de diagnostic le lundi (par exemple 3, 10, 17, 31 et 59 jours de vieillissement).

5.3 Moyens de chauffage

L'expérience a démontré que les étuves sont un moyen commode et économique permettant d'obtenir les températures de vieillissement (voir CEI 60216-4-1). L'étuve soumet toutes les parties du système d'isolation à la pleine température de vieillissement, alors qu'en service réel une grande partie du système d'isolation risque de fonctionner à des températures considérablement inférieures à celle de la partie la plus chaude du système. Les températures de vieillissement doivent être contrôlées et maintenues constantes à ± 2 K près jusqu'à 180 °C et ± 3 K au-dessus de 180 °C jusqu'à 300 °C.

Lorsqu'il n'est pas réalisable d'utiliser des étuves ou quand elles ne représentent pas de manière appropriée les conditions de service, il est admis d'appliquer d'autres méthodes de chauffage. Des exemples de moyens plus directs de chauffage qui simulent fidèlement certaines conditions de service comprennent:

- chauffage direct par courant électrique appliqué aux conducteurs de l'échantillon;
- application aux échantillons de dispositifs de chauffage souples.

Il est admis que certains matériaux se dégradent plus rapidement lorsque les produits de décomposition restent en contact avec la surface de l'isolation alors que d'autres matériaux se dégradent plus rapidement lorsque les produits de décomposition sont éliminés en permanence. Théoriquement, il convient que la concentration des produits de décomposition ne change pas avec la température de vieillissement, mais en essai, cette condition risque de ne pas être réalisable. Les produits de décomposition sont susceptibles de demeurer près de l'isolation pendant le vieillissement en étuve, alors qu'ils risquent d'être chassés sous l'effet de la ventilation en service réel. Les mêmes conditions de ventilation des étuves et de vitesse de remplacement de l'air pendant le vieillissement thermique doivent être assurées au système candidat et au système de référence.

5.4 Vieillissement thermique des éprouvettes

Lorsqu'on utilise des étuves, il convient d'introduire les éprouvettes directement depuis un milieu d'air à température ambiante au début du sous-cycle de vieillissement dans une étuve préchauffée. Si l'étuve n'est pas préchauffée, il convient de contrôler la vitesse d'échauffement et qu'elle soit cohérente entre chaque cycle pour chaque température. Il s'agit d'éviter tout choc thermique pour chaque cycle.

Le sous-cycle de vieillissement thermique des éprouvettes commence dès que le détecteur de température étalonné placé sur la surface de l'isolation la plus protégée atteint la température de vieillissement.

Il convient de retirer directement les éprouvettes de l'étuve pour les exposer à l'air à température ambiante, ou les refroidir par d'autres moyens appropriés à la fin du sous-cycle, afin de les soumettre à un choc thermique uniforme au moment du refroidissement. Le sous-cycle de vieillissement se termine lorsque le chauffage n'est plus appliqué, ou lorsque les éprouvettes sont retirées de l'étuve pour être exposées aux conditions ambiantes. Après le sous-cycle de vieillissement thermique, on laisse les éprouvettes refroidir jusqu'à la température ambiante avant de commencer le sous-cycle de diagnostic.

6 Sous-cycle de diagnostic

6.1 Procédure de conditionnement

6.1.1 Généralités

Après chaque sous-cycle de vieillissement thermique, chaque échantillon doit être soumis à une série de sous-cycles de conditionnement, comprenant des essais de contrainte mécanique et d'exposition à l'humidité.

Les essais sont réalisés dans un ordre cohérent et en appliquant la procédure à chaque cycle. La séquence et les paramètres détaillés des sous-cycles de diagnostic doivent être consignés dans le rapport.

6.1.2 Conditions mécaniques

La procédure d'application des contraintes mécaniques peut être conçue pour s'adapter aux types spécifiques d'éprouvettes et au service prévu. La contrainte mécanique est appliquée aux éprouvettes à la température ambiante et sans tension.

Une méthode couramment utilisée pour exercer une contrainte mécanique consiste à appliquer une vibration au bobinage d'extrémité de l'échantillon. Chaque éprouvette est montée sur une table vibrante horizontale et soumise à un mouvement oscillant à 50 Hz ou 60 Hz pendant 1 h. Il convient que le mouvement de la table soit perpendiculaire au plan des échantillons afin que les extrémités des bobines puissent entrer en vibration radialement comme elles le feraient sous l'effet des forces s'exerçant sur les développantes dans une véritable machine tournante.

Lorsque des machines complètes sont utilisées comme éprouvettes, un cycle de démarrage-arrêt ou d'inversion du sens de rotation peut constituer une technique d'application de contraintes mécaniques aux enroulements au lieu d'utiliser la table vibrante. Il convient que la procédure soit conçue pour s'adapter à l'augmentation de sévérité de la contrainte pour des machines de plus grande dimension.

L'amplitude crête à crête préférentielle de vibration est de 0,2 mm à 60 Hz ou de 0,3 mm à 50 Hz. Cette amplitude correspond à une accélération d'environ 1,5 fois l'accélération due à la pesanteur (c'est-à-dire 15 m/s^2).

6.1.3 Conditionnement à l'humidité

6.1.3.1 Présentation générale

L'association de l'exposition à l'humidité et de l'application de contrainte électrique a souvent une forte incidence sur les propriétés de l'isolation électrique. L'absorption d'humidité par une isolation solide a un effet progressif qui se traduit par une augmentation des pertes diélectriques, une diminution de la résistance d'isolement et contribue à un changement de la

rigidité diélectrique. Il est plus facile de détecter les fissures et la porosité à une tension plus élevée lorsque l'humidité est déposée sur les surfaces de l'isolation.

L'humidité est déposée sur la surface de chaque échantillon de façon à totalement humidifier toutes les surfaces exposées. Pour les systèmes d'isolation non étanches, l'humidité est appliquée dans une enceinte climatique contrôlée à forte teneur en humidité. Pour les systèmes d'isolation étanches, l'humidité est appliquée dans une enceinte climatique contrôlée à forte teneur en humidité, suivie par l'immersion complète des éprouvettes dans l'eau.

L'expérience a montré qu'il fallait une durée d'exposition d'au moins 48 h pour que l'humidité pénètre dans l'enroulement et que la résistance d'isolement atteigne un niveau relativement stable. Cette durée d'exposition démontre une condition beaucoup plus sévère que celle que l'on rencontre en service normal.

6.1.3.2 Méthode d'exposition à l'humidité

Il est possible d'appliquer un dépôt d'humidité visible et continu en enfermant l'éprouvette dans une chambre d'humidité ou une chambre de condensation. Chaque éprouvette doit être exposée à l'humidité pendant au moins 48 h, durée qui permet de produire un dépôt d'humidité visible sur toutes les surfaces exposées. Il convient que la température des éprouvettes soit de $25\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ et il convient de consigner la température réelle. Aucune tension n'est appliquée pendant la période d'exposition. Si nécessaire pour satisfaire à des exigences de sécurité, l'éprouvette peut être retirée de la chambre de condensation avant de réaliser l'essai de tenue en tension.

6.1.3.3 Méthode d'immersion dans l'eau

Il convient d'exposer chacun des échantillons d'une éprouvette à l'humidité puis de lui appliquer une tension conformément au 6.4.1.

Immédiatement après l'application de la tension après humidification, chacun des échantillons d'une éprouvette doit être immergé, y compris les connexions de conducteur de chaque échantillon, pendant une période de 30 min dans de l'eau du robinet à température ambiante contenant un agent mouillant non ionique (agent tensioactif) en concentration suffisante pour réduire la tension de surface à moins de $3,1\text{ }\mu\text{N/m}$ à 25 °C .

Au bout de 30 min, les éprouvettes étant toujours immergées, une tension doit être appliquée aux échantillons tel que décrit en 6.4.1. A la suite de l'essai de tension, les éprouvettes doivent être rincées à l'eau du robinet ne contenant plus aucun agent mouillant. Les unités doivent être laissées à sécher à la température ambiante de l'air, de préférence pendant toute la nuit, avant de démarrer le sous-cycle de vieillissement thermique suivant.

Avant de réaliser l'essai de tension, il peut être utile et instructif de mesurer la résistance d'isolement (IR) de l'éprouvette en appliquant une tension choisie correspondant aux caractéristiques assignées de tension du système d'isolation.

S'agissant de l'essai de systèmes étanches, il est nécessaire de réaliser les conducteurs de l'échantillon de manière particulière pour pouvoir effectuer les essais de tension des échantillons lorsqu'ils sont immergés. Les conducteurs longs ou spécialement étendus pour ressortir de la surface de l'eau peuvent nécessiter un renforcement supplémentaire leur permettant d'éviter toute fissuration de leur base lorsqu'ils sont soumis à l'essai de contrainte mécanique.

6.2 Essais de diagnostic

6.2.1 Essai de tenue en tension

Un essai de tenue en tension élevée est réalisé afin de vérifier l'état des échantillons et de déterminer le moment où a été atteinte la fin de durée de vie en essai. L'essai est réalisé à température ambiante, et la température ambiante réelle doit être consignée. La tension d'essai est spécifiée par rapport aux caractéristiques assignées de tension de l'isolation. Lorsqu'une tension à fréquence industrielle est spécifiée, la fréquence doit être comprise entre 45 Hz et 65 Hz (comme défini dans la CEI 60060-1).

Les équipements d'essai doivent être d'une puissance suffisante pour provoquer et révéler une défaillance. La tension d'essai est appliquée afin de déterminer l'état des échantillons et la fin de la durée de vie en essai.

La défaillance est indiquée par rupture de l'isolation. La défaillance d'un composant quelconque du système d'isolation marque la défaillance de tout l'échantillon. L'emplacement de la défaillance peut être déterminé en réappliquant la tension de manière progressive depuis zéro; les échantillons défectueux ne sont pas en mesure de supporter la tension. La surchauffe localisée ou la présence de fumée peut également constituer le signe d'une défaillance. Il convient de consigner dans le rapport la présence d'étincelles en surface et de décharges électriques mineures constatées lors de l'essai de tension mais cela ne constitue pas une défaillance.

6.2.2 Méthode

Il est important de soumettre à essai chaque partie du système d'isolation séparément afin d'identifier les zones susceptibles de présenter des fissures et/ou délaminations au cours des cycles de contrainte thermique et mécanique. La tension doit être appliquée selon la séquence suivante et comme suit:

- entre spires de l'échantillon, lorsqu'on utilise des échantillons à plusieurs spires (comme pour un essai de l'isolation entre spires), et
- entre les échantillons et la masse de l'éprouvette (comme pour un essai de l'isolation principale).

6.2.3 Essai de l'isolation principale

Pour l'essai de l'isolation principale, la masse de l'éprouvette doit être mise à la terre. Afin de mieux identifier les endroits de défaillance de la bobine, résultant de l'essai de l'isolation principale, chaque échantillon dans la masse peut être soumis à essai individuellement, à condition que la masse et les autres échantillons qui y sont installés soient mis à la terre.

Pour les systèmes non étanches et les systèmes étanches, à la suite de l'exposition dans la chambre d'humidité et avant immersion, une tension d'essai à fréquence industrielle à température ambiante doit être appliquée pendant 1 min, les échantillons étant toujours humides, c'est-à-dire qu'un dépôt d'humidité est visible sur toutes les surfaces de la bobine. Il convient que le niveau de la tension d'essai à fréquence industrielle soit de $2 U_N$ ou 1 000 V, en retenant la valeur la plus élevée. U_N est la tension assignée maximale prévue du système d'isolation en essai.

Pour les échantillons immergés de systèmes étanches, une tension d'essai à fréquence industrielle de $1,15 U_N$ est appliquée pendant 1 min entre la bobine et la masse. Le potentiel de la solution aqueuse et de la masse doit être uniforme pendant l'essai.

Il est également possible de réaliser un essai entre bobines pour lequel la masse et la ou les bobines adjacentes à la bobine d'essai sont mises à la terre et la tension d'essai à fréquence industrielle est appliquée. Les dimensions indiquées dans les schémas du bâti s'appliquent aux essais de l'isolation principale mise à la masse. Il est nécessaire de concevoir une disposition spéciale pour l'essai entre bobines.

6.2.4 Essai de l'isolation entre spires

Trois configurations d'éprouvettes sont recommandées pour réaliser un essai de l'isolation entre spires:

- Echantillons à deux spires parallèles avec isolation complète entre spires autour de chaque brin (toron), placés dos à dos avec les extrémités chanfreinées, où une tension alternative peut être appliquée à une spire, l'autre étant mise à la terre. Un exemple est représenté dans la CEI 60034-18-42. Pour les systèmes étanches et les systèmes non étanches, l'amplitude de la tension utilisée pour les essais de tension alternative doit être de 0,2 multipliée par la valeur crête de U_N , plus 1 kV, pendant 60 s.
- Bobines en losanges (c'est-à-dire de forme permettant leur insertion dans les encoches de stator) à deux spires parallèles placées côte à côte avec isolation complète entre spires autour de chaque spire. Les connexions haute tension et mises à la terre peuvent être réalisées à l'une ou l'autre extrémité de la bobine dans la mesure où les spires sont séparées. Cette configuration peut être soumise à essai avec une tension alternative ou une tension de choc. Pour les systèmes étanches et les systèmes non étanches, l'amplitude de la tension utilisée pour les essais de tension alternative et de choc doit être de 0,2 multipliée par la valeur crête de U_N , plus 1 kV. Un essai en courant alternatif est réalisé sur un échantillon à spires parallèles pendant 60 s, une spire étant mise à la terre pendant l'essai. Si une tension d'essai de choc est appliquée, ceci est réalisé en utilisant le temps de montée des impulsions à front raide et le nombre de chocs par application donnés dans la CEI 60034-15 (Tableau 1).
- Bobines représentatives de la production normale à simple faisceau de fils continu, en spires. Il convient que les spires parallèles soient de conception spécifiée quant à l'isolation entre spires. Ce type d'échantillon nécessite d'appliquer une tension d'essai de choc en utilisant le temps de montée des impulsions à front raide et le nombre de chocs par application donnés dans la CEI 60034-15 (Tableau 1).

6.3 Essais informatifs

Il est admis d'effectuer régulièrement des mesures non destructives de l'état de l'isolation. Ces mesures sont réalisées après l'essai de tenue en tension et avant le début du sous-cycle de vieillissement thermique suivant. Pour les mesures des essais informatifs, il convient de sécher soigneusement les éprouvettes à température ambiante. Les changements observés dans ces mesures entre sous-cycles peuvent constituer des informations utiles sur le processus de vieillissement du système d'isolation. Les essais communs susceptibles de fournir des informations utiles pour évaluer l'état de l'isolation comprennent:

- résistance d'isolement (IR) et courant de fuite,
- tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$, également désigné facteur de pertes diélectriques, ou DF – dissipation factor) et capacité,
- tension d'apparition des décharges partielles (PDIV),
- comportement du système d'isolation en conditions de surtensions répétitives.

7 Rapport et évaluation fonctionnelle des données issues des systèmes candidat et de référence

7.1 Généralités

Les procédures permettant de déterminer les critères de fin de vie appropriés et d'établir un graphique d'endurance thermique sont données en 5.2 de la CEI 60034-18-1.

Pour un essai de qualification complet, la durée moyenne logarithmique de vie de chaque éprouvette est tracée sur la courbe avec ses limites de confiance à 90 % en fonction de la température inverse, conformément à la CEI 60216-1. Les unités d'abscisse représentent la température absolue réciproque (1/K) mais elles sont généralement exprimées en degrés Celsius. Les unités d'ordonnée sont exprimées en heures. Il convient que le résultat donne une courbe semi-logarithmique illustrée par des droites pour le système candidat et le

système de référence et des intervalles de confiance à 90 % pour leurs valeurs moyennes à chaque température d'essai.

La CEI 60034-18-1, 5.2, recommande d'établir et de consigner une liste générale d'informations à inclure dans le rapport d'essai. Des points supplémentaires peuvent être signalés le cas échéant. La CEI 60216-5 fournit un guide permettant de réaliser une analyse statistique complète des résultats.

7.2 Procédure de qualification

7.2.1 Présentation générale

La première étape consiste à définir la durée de vie utile prévue et la classe thermique du système candidat, puis à comparer les performances du système de référence et du système candidat en fonction des critères de qualification donnés dans le Tableau 3. Il est recommandé d'accorder une attention toute particulière lors de la qualification d'un système candidat en fonction d'une classe thermique et/ou durée de vie utile différentes, et ce en raison des hypothèses implicitement formulées pour 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, où un simple essai de linéarité est décrit.

Tableau 3 – Conditions relatives à la qualification du système candidat

Cas	Performances relatives au système de référence		Températures d'essai (issues du Tableau 2)	Critères de qualification
	Température de classe (T_{class})	Durée de vie utile prévue		
A	Identique	Identique	Identique	L'intervalle de confiance du système candidat chevauche et 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):
C	Différente	Identique	Différente	1. L'intervalle de confiance du système candidat doit chevaucher ou dépasser l'intervalle de confiance du système de référence.
D	Différente	Différente	Différente	2. Le système candidat présente des performances améliorées en continu, c'est-à-dire que la pente de sa droite de régression est supérieure ou égale à la pente de la droite de régression du système de référence.

7.2.2 Cas A: Qualification pour la même température de classe et la même durée de vie utile prévue

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. Un exemple est représenté à la Figure 1, avec le système candidat "C" 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.

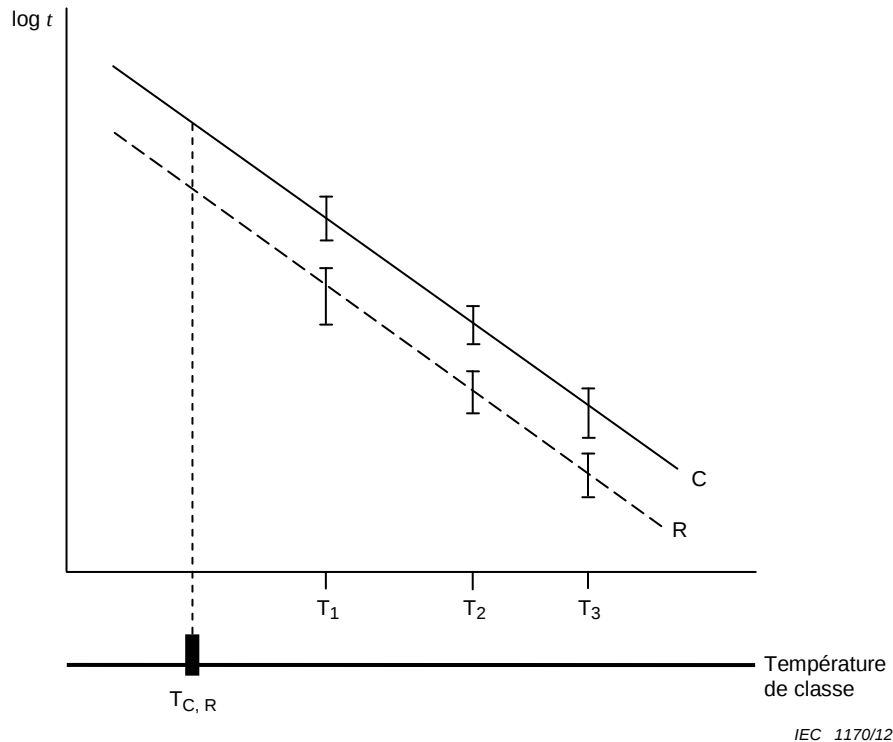


Figure 1 – Système candidat qualifié pour la même classe thermique et la même durée de vie utile prévue

7.2.3 Cas B: Qualification pour la même température de classe et une durée de vie utile prévue différente

Pour qualifier le système candidat pour la même température de classe et une durée de vie utile prévue différente (Tableau 3, Cas B), le système candidat et le système de référence sont soumis aux essais 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 que 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.

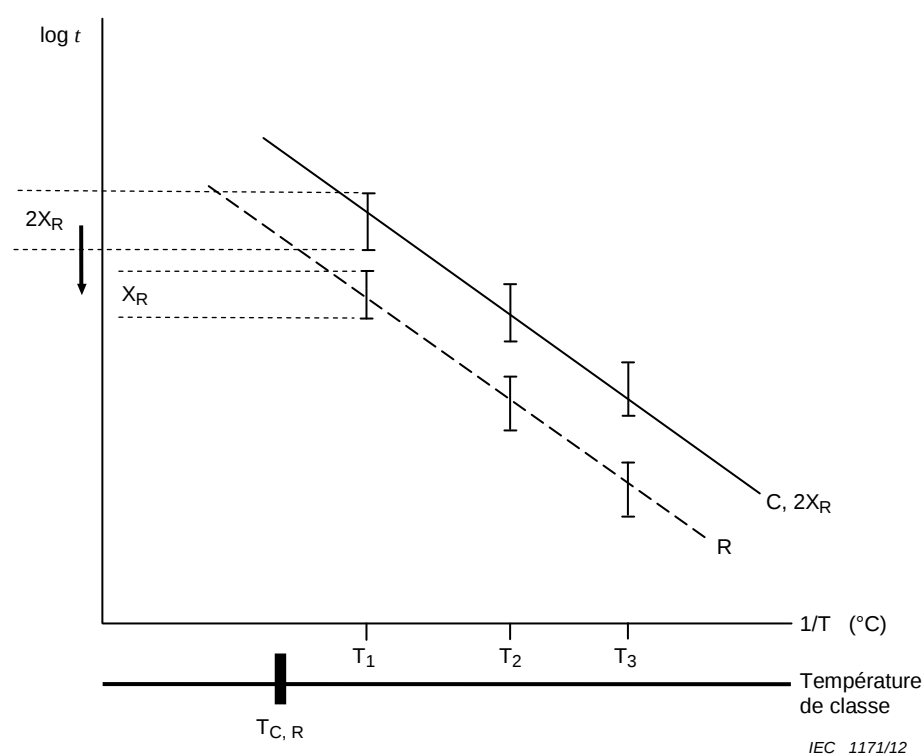


Figure 2 – Système candidat qualifié pour la même classe thermique et une durée de vie utile prévue différente

Si la droite de régression du système candidat coupe celle du système de référence dans l'étendue de mesure, il est qualifié pour une durée de vie utile supérieure à $T_{C,R}$ uniquement s'il 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 un risque de surchauffe du système d'isolation lorsqu'il est en service, il convient d'évaluer les exigences de qualification applicables au système candidat de la même manière que dans le cas A, où la durée de vie du système candidat est supérieure ou égale à celle du système de référence sur la plage de températures d'essai.

7.2.4 Cas C: Qualification pour une température de classe différente et la même durée de vie utile prévue

Pour qualifier un système candidat pour une température de classe différente et la même durée de vie utile prévue (Tableau 3, Cas C), le système candidat est soumis à essai en utilisant les cycles de vieillissement appropriés à sa classe thermique attendue. Cette approche est valable à condition que la classe thermique attendue du système candidat ne soit pas supérieure ou inférieure à une unité de la classe thermique du système de référence. Il convient que la température d'essai la plus basse du système de référence ne soit pas supérieure de 25 K à sa température de classe connue, et que la température d'essai la plus basse du système candidat ne soit pas supérieure de 25 K à 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 à une unité de 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 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 et T_{C+1} est la classe thermique attendue du système candidat.

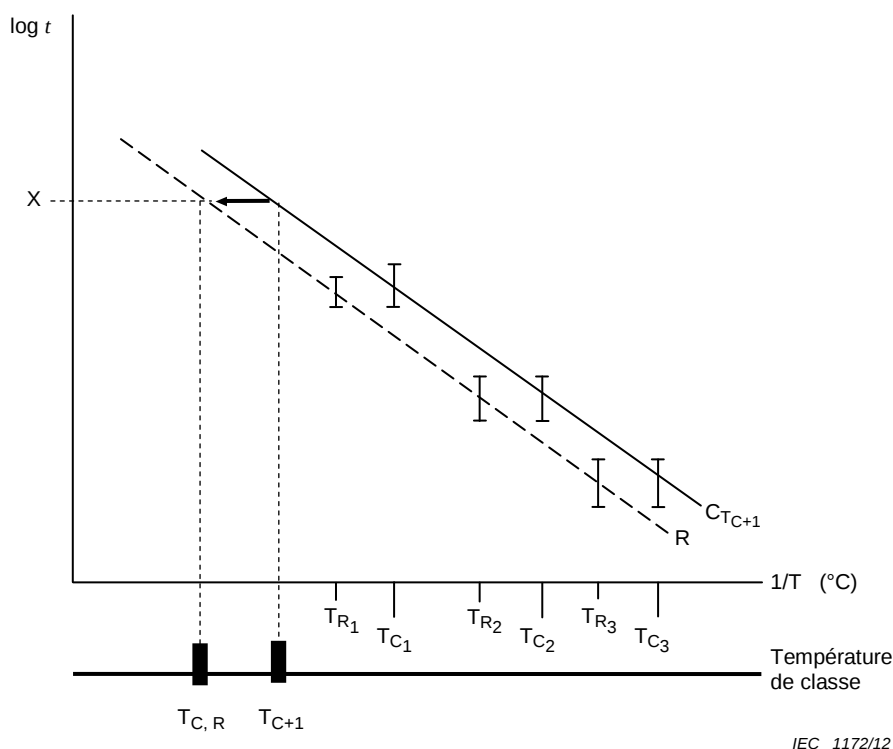


Figure 3 – Système candidat qualifié pour une température de classe différente et la même durée de vie utile prévue

7.2.5 Cas D: Qualification pour une température de classe différente et une durée de vie utile prévue 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 attendue. Cette approche est valable à condition que la classe thermique attendue du système candidat ne soit pas supérieure ou inférieure à une unité de la classe thermique du système de référence. Il convient que la température d'essai la plus basse du système de référence ne soit pas supérieure de 25 K à sa température de classe connue, et que la température d'essai la plus basse du système candidat ne soit pas supérieure de 25 K à 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 $X_R/2$ à $2X_R$, 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 à une unité de 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.

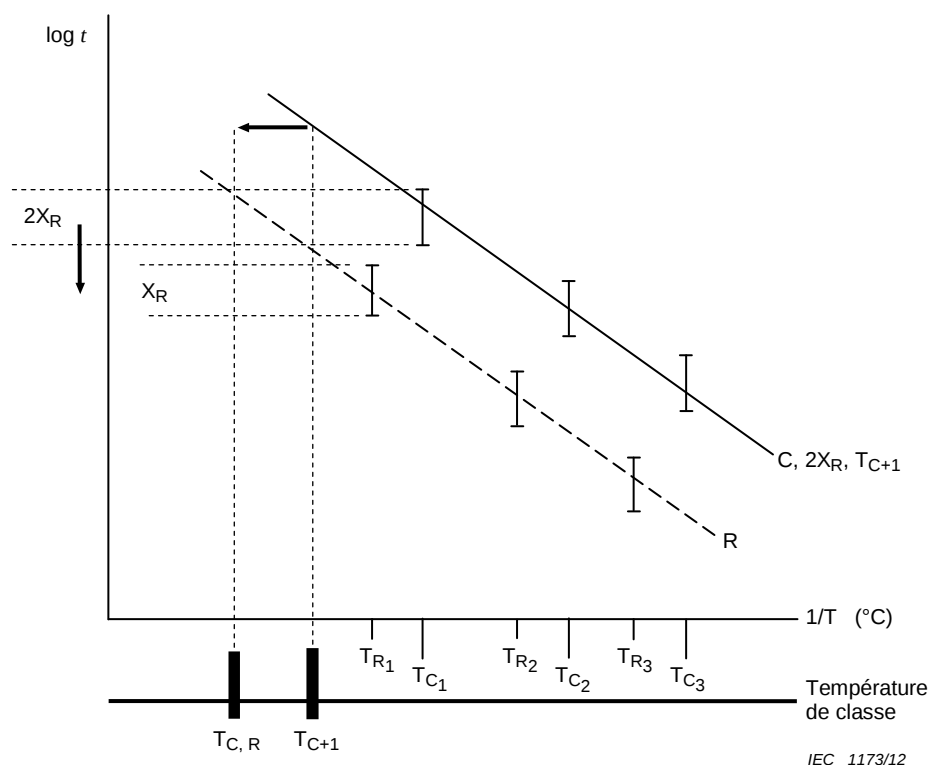


Figure 4 – Système candidat qualifié pour une durée de vie utile différente et une classe thermique différente du système de référence

7.2.6 Non-linéarité des droites de régression

Les systèmes candidat et de référence peuvent réagir différemment à la combinaison des facteurs de vieillissement, en donnant lieu à des droites de régression courbes. Un léger coude dans le graphique indique que plusieurs processus chimiques ou mécanismes de défaillance ont une incidence sur le vieillissement thermique. S'il n'est pas possible de tracer une droite dans les barres de tolérance de tous les points, les données suggèrent qu'il s'est produit un changement significatif dans le mécanisme de vieillissement principal dans la plage de 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 une évaluation réduite, une éprouvette est soumise aux essais sur un seul cycle temps-température dans la plage de températures utilisée pour produire la ligne de référence. Dans ce cas, la durée de vie moyenne logarithmique de l'éprouvette est tracée de manière similaire, avec ses limites de confiance à 90 %, en fonction de la ligne du système de référence.

Cette approche n'est pas aussi rigoureuse ni complète que celle appliquée à une qualification complète; elle est par conséquent réservée à l'évaluation de changements mineurs apportés au système d'isolation, c'est-à-dire, ceux non susceptibles d'affecter de manière significative l'endurance du système en conditions de contrainte thermique.

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

Annexe A **(informative)**

Fabrication d'une formette (exemple)

- A.1** Différents modèles peuvent être employés pour couvrir l'étendue des machines incluses dans cette procédure d'essai.

Les Figures A.1, A.2, A.3 et A.4 montrent la fabrication d'éprouvettes ("formettes") qui ont permis de satisfaire à des essais d'endurance thermique pour évaluer et classer des systèmes d'isolation.

- A.2** Les Figures A.1 et A.2 représentent un montage type d'encoche. Des formettes de cette dimension ont été utilisées pour évaluer et classer des systèmes d'isolation de stators de machines en courant alternatif jusqu'à 10 MW et 7 kV. Il convient que les éprouvettes qui seront immergées dans l'eau et soumises aux essais dans cet état soient conçues avec des conducteurs longs s'étendant au-delà de la surface de l'eau. L'isolation de ces conducteurs n'est pas considérée comme faisant partie du système d'isolation en évaluation. Cependant, il convient de prévoir un support supplémentaire pour ces conducteurs pendant la phase de vibration du sous-cycle de diagnostic. Un mouvement excessif des conducteurs peut provoquer des fissures au niveau du coude où ils sont raccordés à la bobine.

- A.3** Pour les systèmes > 7 kV, il peut être nécessaire d'assurer une plus grande distance d'isolement entre les échantillons et par rapport à la masse de l'éprouvette. Il peut également être nécessaire de prévoir un espace supplémentaire pour leurs blocage, fixation et renforcement. Compte tenu des dimensions limitées de la plupart des étuves pour formette, il peut se révéler difficile d'ajuster au moins 5 échantillons par éprouvette. Il peut se révéler nécessaire de modifier la conception de l'éprouvette de tension supérieure en raccourcissant les échantillons.

A.4 Généralités

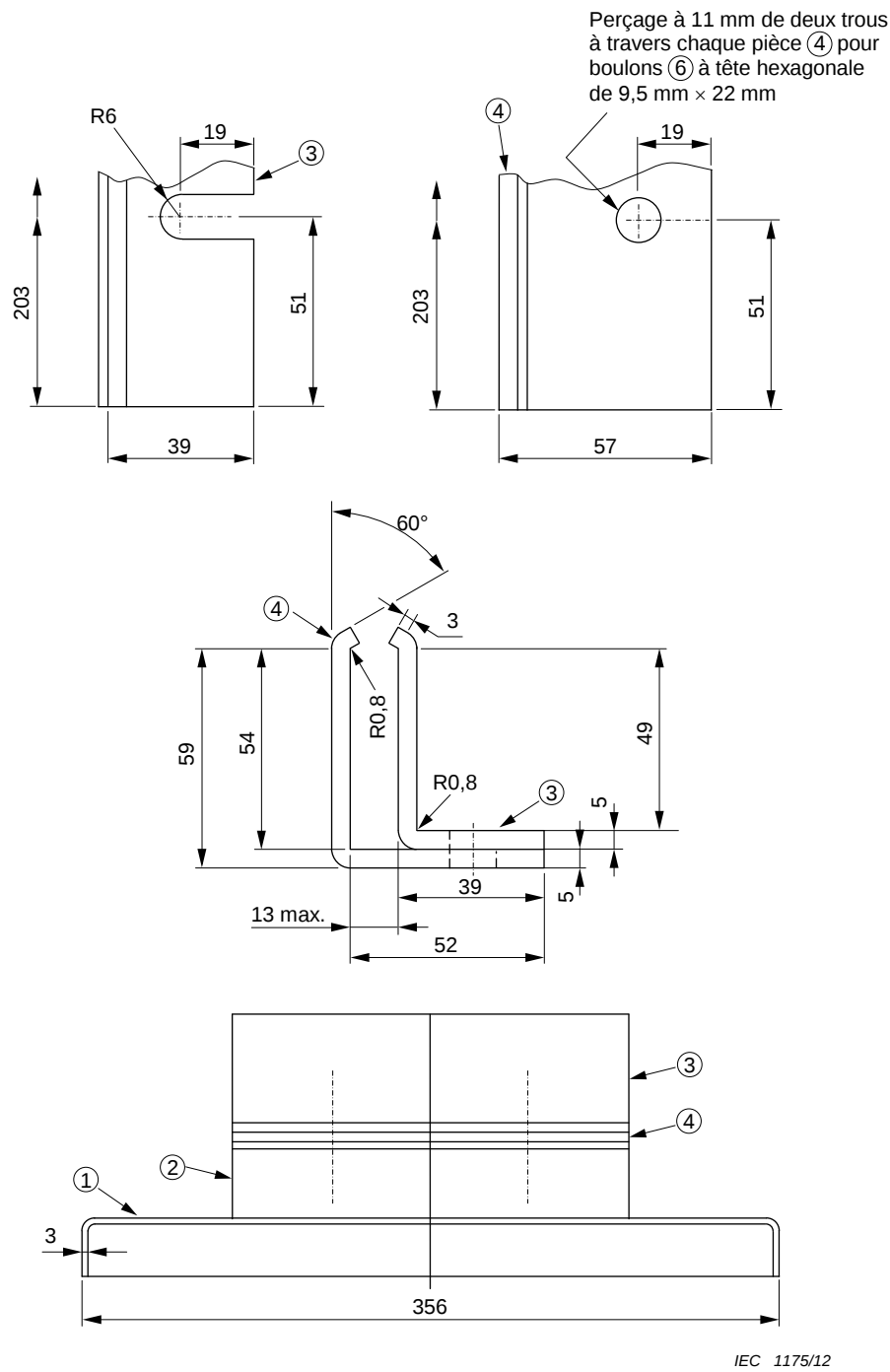
- A.4.1** Les Figures A.3 et A.4 montrent une formette qui peut être utilisée en présence de forces centrifuges (par exemple, induit tournant d'une machine à courant continu ou rotor d'une machine synchrone). Le bâti est réalisé:

- soit en fraisant des encoches dans un bloc d'acier, soit
- en poinçonnant des encoches rectangulaires dans des tôles et en les empilant jusqu'à obtenir la longueur de cannelure voulue, pour enfin les souder ou les boulonner pour en assurer l'assemblage.

Cette dernière technique simule plus fidèlement le montage d'une machine réelle avec des bavures possibles sur les chants estampés et avec un empilage d'encoches produisant des irrégularités de profil qui peuvent être importantes lorsqu'on veut simuler, par exemple, des enroulements à imprégnation globale (post-imprégné). Cependant, ce dernier type de bâti peut être plus onéreux que celui réalisé par fraisage.

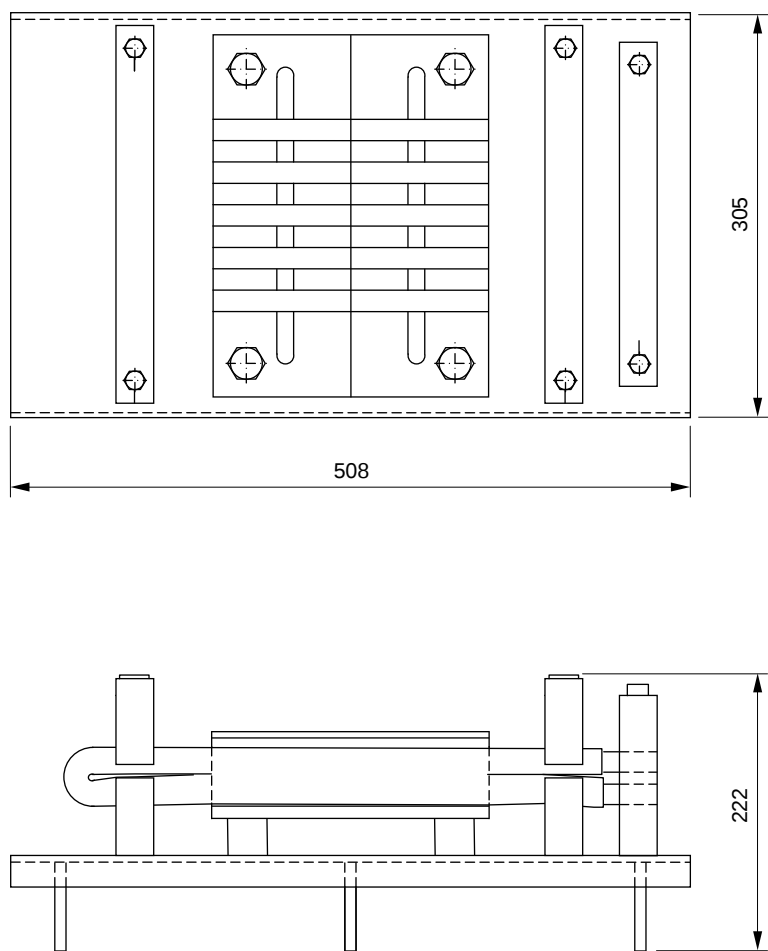
- A.4.2** Si les deux côtés de la bobine doivent être insérés dans des encoches comme dans un enroulement réel, les bobines doivent être conçues en conséquence. Une structure de formette peut être utilisée si uniquement un côté de la bobine doit être inséré ou si des barres ou demi-bobines sont utilisées.

- A.4.3** L'effet de la charge centrifuge sur l'isolation de la bobine est simulé en appliquant une plaque rigide d'acier profilé (Figures A.3 et A.4) au-dessus de la portion



Dimensions en millimètres

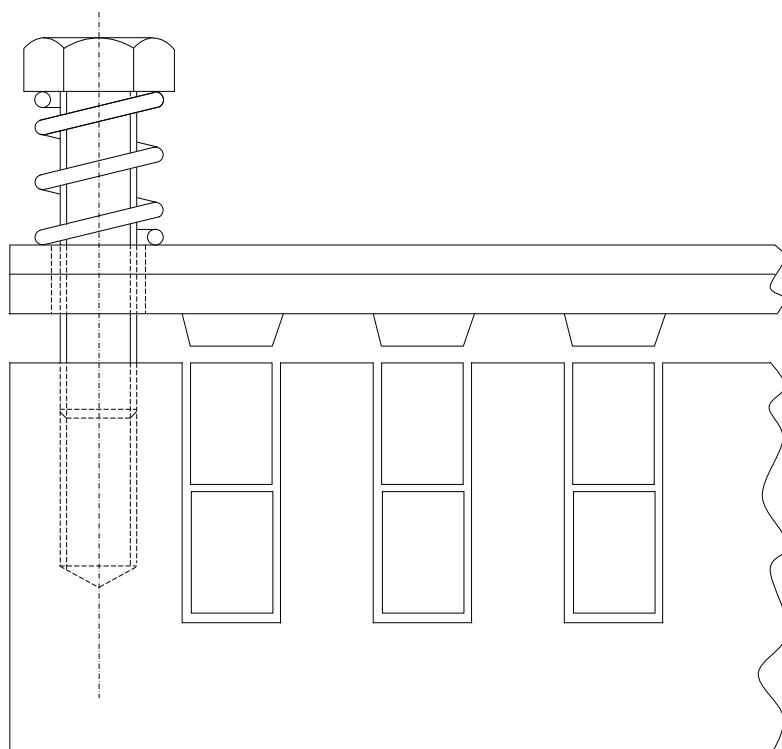
Figure A.2 – Montage d'encoche type



IEC 1176/12

Dimensions en millimètres

Figure A.3 – Formette pour essais de bobines d'induit CC



IEC 1177/12

Figure A.4 – Bâti d'essai pour section d'encoche de rotor

Bibliographie

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

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
www.iec.ch