

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Rotating electrical machines –

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

Machines électriques tournantes –

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



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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Rotating electrical machines –

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

Machines électriques tournantes –

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

P

ICS 29.160

ISBN 978-2-83220-116-9

**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.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 General considerations	6
3.1 Relationship to IEC 60034-18-1	6
3.2 Thermomechanical ageing process	7
3.3 Designation of test procedure	7
3.4 Reference insulation system	7
4 Test specimens and test objects	7
4.1 Construction	7
4.2 Number of test specimens	8
5 Heating and cooling cycles.....	8
5.1 Temperature and length of heating and cooling cycles	8
5.2 Number of cycles.....	10
6 Test procedure 1 for bars/coils in model slots	10
6.1 Model slot.....	10
6.2 Support for end parts of test objects	11
6.3 Methods of heating	11
6.4 Methods of cooling	12
7 Test procedure 2 for unrestrained bars/coils.....	12
7.1 Positioning the bars/coils for test.....	12
7.2 Method of heating.....	12
7.3 Methods of cooling	13
8 Tests for qualification.....	13
8.1 Initial quality control tests.....	13
8.2 Suggested diagnostic tests on individual bars/coils	13
8.3 Recommended frequency of diagnostic tests.....	14
8.4 Criterion for qualification.....	14
9 Analysis and reporting	15
Figure 1 – Details of stator bar and coil definitions.....	8
Figure 2 – Heating and cooling cycle schedule.....	10
Figure 3 – Example of the model slot with two bars.....	11

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

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

FOREWORD

- 1) The 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 60034-18-34 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

This standard cancels and replaces IEC/TS 60034-18-34 (2000).

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

FDIS	Report on voting
2/1660/FDIS	2/1669/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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-18-34:2012

INTRODUCTION

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

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

The main ageing factor expected in this test procedure is a mechanical stress due to the thermal expansion difference between the conductor and the insulation, which is defined as a thermomechanical stress. In this test, a transient temperature gradient from the conductor to the outer surface of the bar or coil is generated with similar time constant as those found in real generators. This thermal cycle is repeated to induce fatigue in the insulation system.

In this test, the thermal ageing is negligible. For thermal functional test, see IEC 60034-18-31.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-18-34:2012

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

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

1 Scope

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

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

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 60028:1925, *International standard of resistance for copper*

IEC 60034-1:2010, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

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

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

IEC 60034-18-32:2010, *Rotating electrical machines – Part 18-32: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation by electrical endurance*

IEC/TS 60034-27:2006, *Rotating electrical machines – Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines*

IEC 60093:1980, *Method of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials*

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

3 General considerations

3.1 Relationship to IEC 60034-18-1

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

3.2 Thermomechanical ageing process

As a result of thermomechanical cycling, the following mechanical degradations can occur in the insulation system of the windings:

- a) delamination between layers of the insulation;
- b) delamination between a layer of the insulation and the conductor;
- c) abrasion at the outer surface of the insulation;
- d) circumferential cracking of the insulation (tape separation/girth cracking), most likely in the extension of the straight part;
- e) mechanical damage to the insulation caused by distortion of the end turns of the winding.

3.3 Designation of test procedure

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

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

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

Test procedure 1 can be used to simulate all the ageing processes listed in 3.2. This is the most informative method for assessing thermomechanical endurance performance because it simulates more precisely the conditions occurring in the windings of machines in service.

Test procedure 2 can be used to simulate ageing process 3.2 a) and 3.2 b), namely when the winding design allows for free axial movement of the bars/coils in the slots.

In both test procedures, the test objects are initially exposed to quality control tests and optional diagnostic tests. At certain prescribed times during and at the end of the thermal cycling, the diagnostic tests may be repeated. The ultimate final functional test is a destructive test.

3.4 Reference insulation system

A reference insulation system shall be tested using the same test procedure as for the candidate system. An insulation system qualifies to be used as a reference insulation system, if it has shown successful operation over suitably long periods of time at typical operating conditions for that insulation system. The class temperature of the reference insulation system shall not differ from that of the candidate insulation system by more than one thermal class. If experience with a suitable reference system is not available, maximum permissible changes of the properties of the insulation system caused by the thermomechanical endurance test shall be specified, in some cases after an agreement between manufacturer and user.

4 Test specimens and test objects

4.1 Construction

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

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

The bars or coils shall be fully cured as in the functional machine.

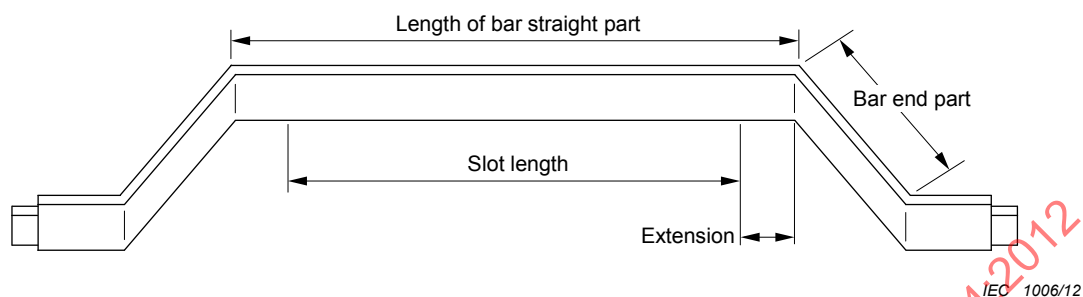


Figure 1a – Stator bar

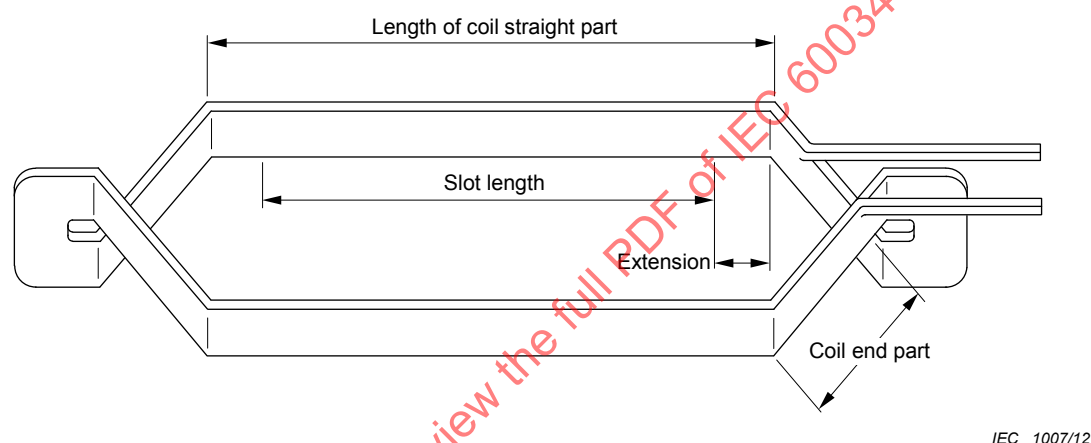


Figure 1b – Stator coil

Figure 1 – Details of stator bar and coil definitions

4.2 Number of test specimens

At least five bars or three coils shall be tested in each thermomechanical test. Additional coils/bars should be necessary to monitor the conductor temperature and to perform destructive tests on reference (non-cycled) set of bars/coils (see 5.1, 6.3 and 7.2). If the temperature is determined from the copper resistance variation, these additional coils/bars may not be needed.

5 Heating and cooling cycles

5.1 Temperature and length of heating and cooling cycles

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

The preferred measurement method of the conductor temperature is accomplished using thermocouples, thermistors or fibre-optic sensors in direct contact to the conductor. In order to obtain good contact to the surface of the conductors, the temperature sensor shall be built into

the bare-bar before being insulated or inserted into a hole drilled through the insulation on a separate control bar.

An alternative method to avoid the insertion of a probe directly on the copper conductor is to measure the resistance of the bar/coil. The copper resistivity depends of its temperature according to a relationship given in IEC 60028. From the resistance measured when the bar/coil is at ambient temperature, the average temperature of the copper can be determined from the relationship given in IEC 60028. The reference measurement of copper resistance is essential and shall be made when the whole bar/coil is at the same, exactly known ambient temperature between 10 °C and 30 °C. During the heating, the copper resistance can be measured by the voltage drop along the bar/coil if a direct current source is used to heat the bar/coil. The position of the voltage measurement point shall be as close as possible to the edge of the insulation, without including the connections, and shall always be at the same location. The temperature along the surface of the bars/coils shall be uniform within ± 10 K as measured using a non-contact technique such as a thermographic camera or a infra-red pyrometer. Terminals should normally be thermally insulated to prevent a heat sink effect.

NOTE 1 The harmonic content of the d.c. source should be low to minimize the effect of inductance.

If the resistance method is used during heating, it may also be used during cooling. A suitably small direct current measurement should then be applied to get a lower temperature limit with sufficient accuracy. To restart the cycle when the lower temperature limit is reached, a surface temperature measurement may also be performed. It is necessary to determine beforehand the surface temperature which corresponds to the lower temperature limit at the conductor by performing a test using the resistance variation measured by direct current injection. This method is the same as the "resistance method" in IEC 60034-1. An increase of the thermal conductivity of the insulation wall is expected during the ageing process, but its change should have limited influence on the lower temperature limit.

The upper temperature limit shall normally be the class temperature (T_c) of the insulation system. It shall be controlled within ± 3 K. If the copper resistance method is used to control the temperature, the upper limit shall be set at $(T_c - 5)$ °C. With this method, the upper temperature limit shall be controlled within ± 5 K. Since the thermal conductivity often changes with ageing, it is necessary to monitor the upper temperature limit of copper temperature during the test, at least on one bar/coil. The lower temperature limit shall be in the interval between 30 °C and 50 °C.

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

NOTE 2 Some insulation systems have a softening temperature above the upper temperature limit. This may influence the test results, especially when comparing results with an insulation system that has a low glass transition temperature.

NOTE 3 For machines with particular thermal operating conditions, shorter times may be used.

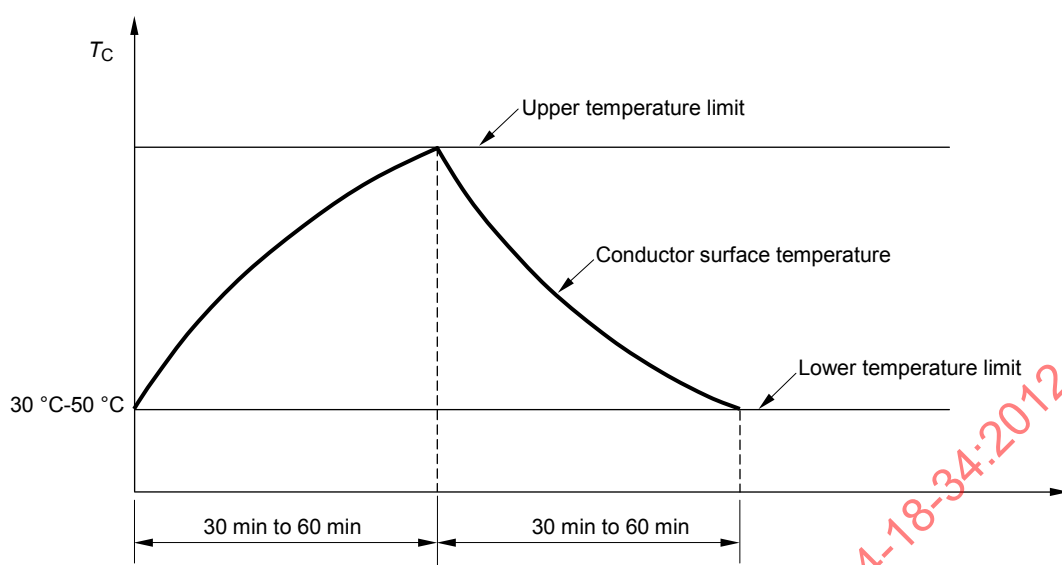


Figure 2 – Heating and cooling cycle schedule

5.2 Number of cycles

The test objects shall be exposed to a minimum of 500 thermal cycles.

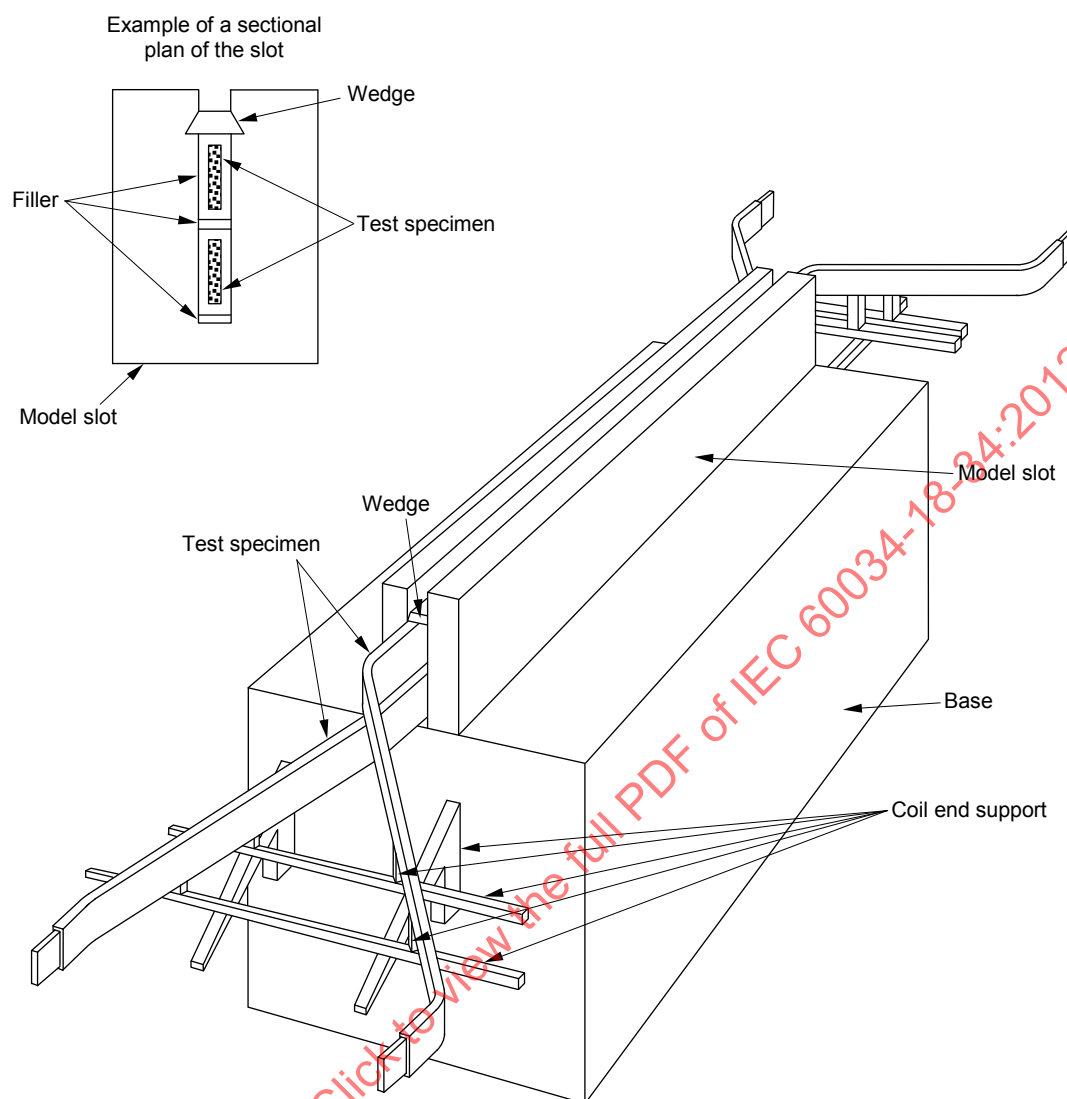
6 Test procedure 1 for bars/coils in model slots

6.1 Model slot

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

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

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



IEC 1009/12

NOTE The figure shows only one slot with two bars. For the actual test, more slots are needed. When coils are tested, it is important that the slots for each coil have the proper spacing and angular relationship to avoid that the coils during the test be exposed to mechanical stresses not occurring in service. It might be necessary to include dummy bars for proper tightness of the coils in the slot models.

Figure 3 – Example of the model slot with two bars

6.2 Support for end parts of test objects

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

6.3 Methods of heating

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

The following heating methods may be used.

- a) Heating with electric current through the conductors

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

b) Internal heating with liquid or steam

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

c) Combination of methods a) and b)

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

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

6.4 Methods of cooling

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

a) Cooling with blowers

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

b) Cooling of the model core with fluid

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

c) Cooling with internal fluid

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

7 Test procedure 2 for unrestrained bars/coils

7.1 Positioning the bars/coils for test

The bars/coils shall be placed parallel and equidistant to each other to ensure uniform temperature distribution of the test specimens. They shall be adequately supported in order to avoid unnecessary mechanical stresses during testing. Care should be taken in order to have uniform temperature between bars, as external bars may have higher radiative losses.

7.2 Method of heating

The method described in 6.3 a) applies. Without a model core to support the bars/coils, the heating connections between the bars/coils shall have sufficient flexibility and weight relief to avoid unnecessary mechanical stresses in the test specimens.

7.3 Methods of cooling

The methods described in 6.4 a) and 6.4 c) apply.

8 Tests for qualification

8.1 Initial quality control tests

Before the first thermomechanical ageing cycle is started, the following tests should be performed. These tests are performed to ensure that all the bars used for thermomechanical cycling fulfill a manufacturer's quality specifications. No pass/fail criteria for these initial quality control tests are given in this standard.

These tests are performed before the placement of the bars/coils in the model slots and supporting the ends or initially for the unrestrained bars/coils:

Recommended initial quality control tests:

- a) visual inspection of the test objects;
- b) measurement of the surface resistance of conducting surfaces in the slot portion of the bar/coil. For this measurement, two conductive annular electrodes that are separated by a known distance in the range of 0,1 m to 1 m shall be used (see IEC 60093);
- c) width and depth measurements at several locations on the straight parts, on the transitions to the end parts and on the end parts of the test objects, to an accuracy of $\pm 0,03$ mm. These locations shall be well identified, so that the measurements can be repeated at the same locations after cycling;
- d) voltage withstand tests using factory normal testing procedures;
- e) in the case of multitrans coils, impulse or high-frequency turn-to-turn tests (see IEC 60034-15).

8.2 Suggested diagnostic tests on individual bars/coils

Thermomechanical ageing is expected to affect the insulation as indicated in 3.2. Diagnostic tests may be performed to help the user in identifying the dominant ageing process, and to gain knowledge about the candidate insulation system. The list of tests in this section is a recommendation of the most common tests that may provide information about the ageing processes. No pass/fail criteria for these tests are given in this standard.

For these tests, the bars/coils shall remain in the model slots, as during the cycling. For unrestrained bars/coils, should they need to be moved, this should be done with sufficient care to avoid cracking the insulation and thus affecting the results. It is recommended to perform the tests at least before and after the thermomechanical cycling.

a) Loss tangent test

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

b) Partial discharge test

In this test, the inception and extinction voltage for the partial discharges are determined, as well as the partial discharge activity up to U_N (see IEC TS 60034-27).

c) Measurement of insulation length

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

d) Visual examination

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

e) Tap test

The tap test, although quite subjective, can provide indications of delaminations. This test can only be performed on unrestrained bars/coils.

f) Measurement of surface resistance of conducting surfaces

This test is to be performed as in 8.1 b) using the same location. This test can only be performed on unrestrained bars/coils.

g) Width and depth measurements

These are to be performed as in 8.1 c) and at the same locations. This test can only be performed on unrestrained bars/coils.

h) Bar/coil-to-ground insulation resistance

The insulation resistance of the bar/coil to the ground shall be measured with a d.c. voltage chosen of 2 500 V or 5 000 V as applicable. The resistance at 1 min and 10 min shall be recorded. Due to the very high insulation resistance of a normal bar, the value may be outside the range of the megohmmeter. A low value may indicate crack formation in the insulation.

i) Other tests

It may be desirable in special cases to evaluate a specific failure mechanism, for instance tensile or flexural strength of insulation specimens.

8.3 Recommended frequency of diagnostic tests

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

8.4 Criterion for qualification

The qualification criterion in this standard is based on the comparison of the breakdown time between the reference and the candidate insulation system submitted to a long term voltage breakdown test at power frequency. A long term test is used in order to activate an erosion process by partial discharge. This destructive test is to be performed after the thermomechanical cycles, and after the optional diagnostic tests.

Bars/coils in a restrained model slots should not be removed from their test facility to do the voltage endurance test, unless the user is certain that such removal will not damage the insulation.

A comparison between candidate and reference system is allowed only if the heating and cooling methods are the same for both systems, and if the temperature measurement method is the same in the comparison. For example, if a hollow conductor reference system has been cooled by internal fluid (method 6.4 c)), a candidate system may not be qualified using this standard if the bar or coil is constructed from solid conductors, because the same cooling method cannot be applied. If the reference system has been tested by drilling a hole into the insulation to insert a temperature sensor for the control of the temperature cycle, the resistance method cannot be applied for the candidate system.

The voltage endurance can be performed at ambient temperature or any other temperature, such as operating temperature. Comparison between candidate and reference system is allowed only if the test temperature is in the same range for both systems.

Comparison between candidate and reference system is allowed only if the applied voltage sequence is the same for both systems. The voltage sequence is defined by the voltage levels, the time duration of each voltage level, and their sequence. As indicated in IEC 60034-18-32, the voltage level is the ratio between the applied line to ground voltage and the rated voltage. The difference in rated voltage for the reference and candidate system shall fulfill the specification given in IEC 60034-18-32.

The candidate system is qualified according to the requirements of the reduced evaluation method of IEC 60034-18-32. The method in IEC 60034-18-32 compares the 90 % confidence intervals of the breakdown time. A minimum number of 5 test specimens shall have reached breakdown. For coils, if one side has failed, the other side may be used if the failed side is not grounded.

This standard does not specify any particular voltage sequence but it shall satisfy three conditions:

- a minimum voltage level of $2 U_N$,
- for step by step voltage increase, a maximum voltage increment of $0,1 U_N$ with a minimum of 10 h between each step or for ramp voltage increase, a voltage rate of $0,01 U_N$ per hour,
- a 63 % quantile time to breakdown of more than 100 h for the reference system using the chosen voltage level sequence.

A typical insulation system is expected to withstand more than 250 h when subjected to $2,5 U_N$.

The stress grading material may be damaged during the voltage endurance test. All actions to prevent or repair degradation of the material are allowed. Flashover along the surface of the end winding is not considered as a breakdown of the insulation since the voltage endurance is aimed to test the mainwall insulation rather than the stress grading system. In case of doubt, an insulation resistance measurement as in 8.2 h) shall be performed to assess the existence of a real breakdown. See IEC 60034-18-32, Clause 6, for more information.

The a.c. voltage endurance tests should also be performed on a non-cycled set of bars/coils for evaluation of the effect of the cycling.

A visual examination of the breakdown area after dissection of the insulation is recommended to help identify the dominant ageing process.

9 Analysis and reporting

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

- reasons for choosing the test procedure of this guide;
- description of the insulation system tested (the reference and the candidate systems);
- construction of the test objects;
- construction of the model core and end supports if included in the test;
- number of test objects used;
- maximum and minimum temperature and length of the heating and cooling cycles;
- number of ageing cycles used in the test;
- results of the initial quality control and diagnostic tests;
- results of the diagnostic tests during cycling;
- description of the method used for the voltage endurance test;
- results of the final diagnostic functional tests;

- description of the statistical analysis, and their results.

The analysis of the suggested diagnostic tests consists of a comparison between the reference and the candidate insulation system with respect to the measurements made during and after cycling. The comparison shall be based upon the change in the diagnostic measurements themselves, and on the final destructive tests. Specifically, the comparison may be made on the basis of the following:

- change during cycling of the loss tangent tip-up, measured between the lowest and highest test voltages;
- change in the partial discharge inception and extinction voltages during cycling;
- change in the partial discharge activity at U_N during cycling;
- change in the width and depth measurements during cycling;
- permanent change in the length of the insulation during cycling;
- change in the surface resistance of conducting surfaces;
- visual evidence of abrasion on the straight part (if model slots were used in the test);
- visual evidence of cracks in the insulation surface;
- visual evidence of degradation in the final dissection of the insulation.

In the process of comparing the candidate and the reference insulation systems, greatest importance should be given to the measurements that are related to the ageing process concerned (see 3.2).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-18-34:2012

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
INTRODUCTION	21
1 Domaine d'application	22
2 Références normatives	22
3 Considérations générales.....	23
3.1 Relation avec la CEI 60034-18-1	23
3.2 Processus de vieillissement thermomécanique.....	23
3.3 Désignation des procédures d'essai	23
3.4 Système d'isolation de référence	23
4 Echantillons et éprouvettes	24
4.1 Fabrication	24
4.2 Nombre d'échantillons	24
5 Cycles de chauffage et de refroidissement	25
5.1 Température et durée des cycles de chauffage et de refroidissement	25
5.2 Nombre de cycles	26
6 Procédure d'essai 1 pour barres/bobines en fausses encoches	26
6.1 Fausse encoche	26
6.2 Support des extrémités des éprouvettes	27
6.3 Méthodes de chauffage.....	27
6.4 Méthodes de refroidissement.....	28
7 Procédure d'essai 2 pour barres/bobines non maintenues	28
7.1 Positionnement des barres/bobines lors de l'essai.....	28
7.2 Méthode de chauffage	29
7.3 Méthode de refroidissement.....	29
8 Essais de qualification	29
8.1 Essais préliminaires de contrôle qualité	29
8.2 Essais de diagnostic proposés sur les barres/bobines individuelles	29
8.3 Périodicité recommandée pour les essais de diagnostic	30
8.4 Critère de qualification	30
9 Analyse et compte-rendu	32
Figure 1 – Détails des définitions de la barre et de la bobine.....	24
Figure 2 – Schéma du cycle de chauffage et de refroidissement	26
Figure 3 – Exemple de fausse encoche avec deux barres	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

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

AVANT-PROPOS

- 1) La 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

La Norme internationale CEI 60034-18-34 a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

La présente norme annule et remplace la CEI/TS 60034-18-34 (2000).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
2/1660/FDIS	2/1669/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 entre toutes les publications du CE 2 de la CEI figure sur le site web de la CEI, à la page d'accueil du comité.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-18-34:2012

INTRODUCTION

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

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

Le facteur de vieillissement principal prévu dans la présente procédure d'essai est une contrainte mécanique due à la différence de dilatation thermique entre le conducteur et l'isolation, qui est définie comme une contrainte thermomécanique. Dans cet essai, un gradient de température transitoire entre le conducteur et la surface extérieure de la barre ou de la bobine est produit, avec une constante de temps semblable à celles rencontrées dans les génératrices réelles. Ce cycle thermique est répété pour provoquer une fatigue dans le système d'isolation.

Dans cet essai, le vieillissement thermique est négligeable. Pour les essais fonctionnels thermiques, voir la CEI 60034-18-31.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60034-18-34:2012

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

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

1 Domaine d'application

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

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

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 60028:1925, *Spécification internationale d'un cuivre-type recuit*

CEI 60034-1:2010, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 60034-15, *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, *Machines électriques tournantes – Partie 18-1: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Principes directeurs généraux*

CEI 60034-18-32:2010, *Machines électriques tournantes – Partie 18-32: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation par endurance électrique*

CEI/TS 60034-27:2006, *Machines électriques tournantes – Partie 27: Mesures à l'arrêt des décharges partielles effectuées sur le système d'isolation des enroulements statoriques des machines électriques tournantes*

CEI 60093:1980, *Méthodes pour la mesure de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle des matériaux isolants électriques solides*

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

3 Considérations générales

3.1 Relation avec la CEI 60034-18-1

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

3.2 Processus de vieillissement thermomécanique

Du fait du cyclage thermomécanique, les dégradations mécaniques suivantes peuvent survenir dans le système d'isolation des enroulements:

- a) délamination entre les couches d'isolation;
- b) délamination entre une couche d'isolation et le conducteur;
- c) abrasion à la surface extérieure de l'isolation;
- d) fissuration circonférentielle de l'isolation (décohésion du ruban/cassure circulaire), plus probablement dans l'extension de la partie rectiligne;
- e) endommagement mécanique de l'isolation, provoqué par la déformation de l'extrémité des spires de l'enroulement.

3.3 Désignation des procédures d'essai

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

La procédure d'essai 1, dans laquelle les barres/bobines d'essai de l'enroulement sont assemblées en fausses encoches simulant les conditions dans une vraie machine, y compris les supports à chaque extrémité des barres/bobines.

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

La procédure d'essai 1 peut être utilisée pour simuler tous les processus de vieillissement énumérés en 3.2. C'est la méthode la plus informative pour évaluer les performances d'endurance thermomécanique, car elle simule plus précisément les conditions d'exploitation des enroulements de machines.

La procédure d'essai 2 peut être utilisée pour simuler le processus de vieillissement 3.2 a) et 3.2 b), à savoir lorsque la conception de l'enroulement permet un déplacement axial libre des barres/bobines dans les encoches.

Dans chacune des procédures d'essai, les éprouvettes sont exposées au départ à des essais de contrôle qualité et à des essais de diagnostic facultatifs. A des instants précisés au cours et à la fin du cyclage thermique, les essais de diagnostic peuvent être répétés. L'essai fonctionnel final est un essai destructif.

3.4 Système d'isolation de référence

Un système d'isolation de référence doit être soumis aux essais en utilisant la même procédure d'essai que celle du système candidat. Un système d'isolation est qualifié pour servir de système d'isolation de référence s'il a joué son rôle sans problème durant une durée suffisamment longue dans des conditions types de service pour ce système d'isolation. La température de classe du système d'isolation de référence ne doit pas différer de celle du système d'isolation candidat de plus d'une classe thermique. En l'absence d'expériences avec un système de référence adéquat, les variations maximales permises des propriétés du système d'isolation causées par l'essai d'endurance thermomécanique doivent être spécifiées, dans certains cas après accord entre fabricant et utilisateur.

4 Echantillons et éprouvettes

4.1 Fabrication

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

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

Les barres ou bobines doivent être complètement polymérisées, comme dans la machine fonctionnelle.

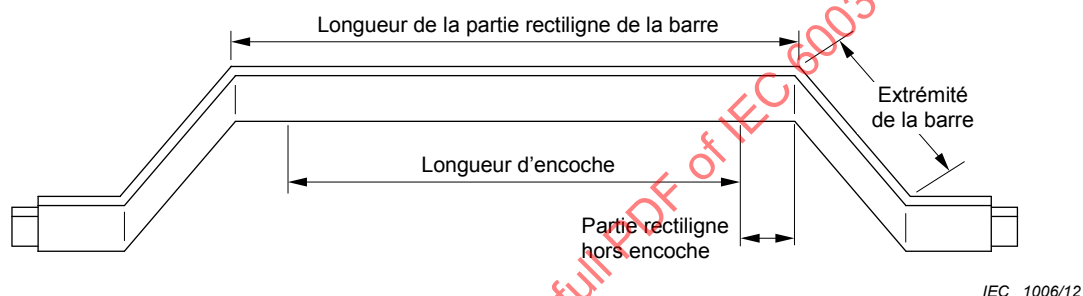


Figure 1a – Barre de stator

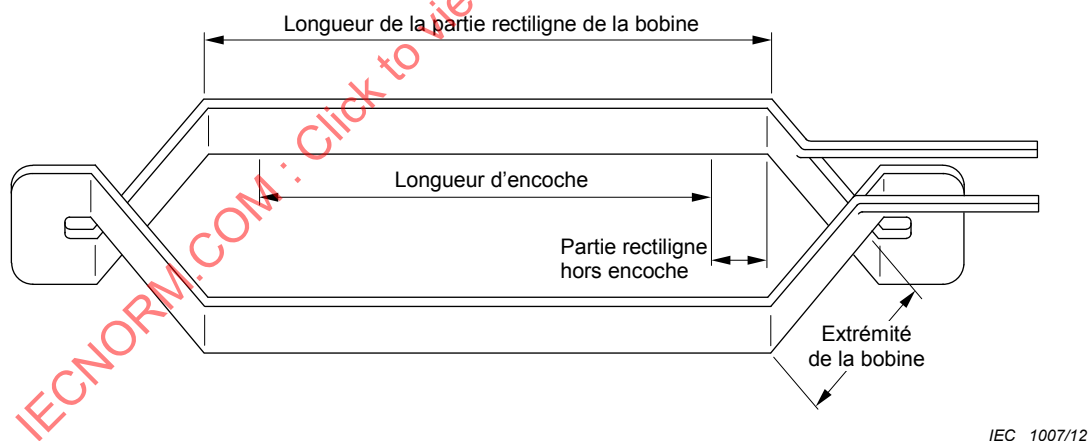


Figure 1b – Bobine de stator

Figure 1 – Détails des définitions de la barre et de la bobine

4.2 Nombre d'échantillons

Au moins cinq barres ou trois bobines doivent être soumises aux essais pour chaque essai thermomécanique. Il convient que des barres/bobines supplémentaires soient nécessaires pour réguler la température du conducteur et réaliser des essais destructifs sur le jeu de référence (non cyclé) de barres/bobines (voir 5.1, 6.3 et 7.2). Si la température est déterminée à partir de la variation de résistance du cuivre, ces bobines/barres supplémentaires peuvent ne pas être nécessaires.

5 Cycles de chauffage et de refroidissement

5.1 Température et durée des cycles de chauffage et de refroidissement

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

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

Une autre méthode pour éviter l'insertion d'une sonde directement sur le conducteur en cuivre consiste à mesurer la résistance de la barre/bobine. La résistivité du cuivre dépend de sa température, conformément à une relation donnée dans la CEI 60028. À partir de la résistance mesurée lorsque la barre/bobine est à la température ambiante, la température moyenne du cuivre peut être déterminée à partir de la relation donnée dans la CEI 60028. La mesure de référence de la résistance du cuivre est essentielle et doit être réalisée lorsque l'ensemble de la barre/bobine est à la même température ambiante, exactement connue, comprise entre 10 °C et 30 °C. Au cours du chauffage, la résistance du cuivre peut être mesurée par la chute de tension le long de la barre/bobine, si une source de courant continu est utilisée pour chauffer la barre/bobine. L'emplacement du point de mesure de la tension doit être aussi proche que possible du bord de l'isolation, sans inclure les connexions, et doit toujours être au même endroit. La température le long de la surface des barres/bobines doit être uniforme à ± 10 K près, mesurée à l'aide d'une technique sans contact, comme une caméra thermique ou un pyromètre infrarouge. Il convient en principe que les bornes soient isolées thermiquement pour empêcher un effet de radiateur.

NOTE 1 Il convient que le résidu harmonique de la source de courant continu soit faible, afin de minimiser l'effet de l'inductance.

Si la méthode par variation de résistance est utilisée au cours du chauffage, elle peut également être utilisée au cours du refroidissement. Il convient ensuite d'appliquer une mesure de courant continu suffisamment faible pour obtenir une température limite inférieure avec une précision suffisante. Pour redémarrer le cycle lorsque la température limite inférieure est atteinte, une mesure de la température de surface peut également être réalisée. Il est nécessaire de déterminer au préalable la température de surface qui correspond à la température limite inférieure au niveau du conducteur en réalisant un essai utilisant la variation de résistance mesurée par injection de courant continu. Cette méthode est la même que la « méthode par variation de résistance » de la CEI 60034-1. Une augmentation de la conductivité thermique de la paroi d'isolation est prévue au cours du processus de vieillissement, mais il convient que sa variation ait une influence limitée sur la température limite inférieure.

La température limite supérieure doit normalement correspondre à la température de classe (T_c) du système d'isolation. Elle doit être contrôlée à ± 3 K près. Si la méthode par variation de résistance du cuivre est utilisée pour contrôler la température, la limite supérieure doit être fixée à $(T_c - 5)$ °C. Avec cette méthode, la température limite supérieure doit être contrôlée à ± 5 K près. Étant donné que la conductivité thermique varie souvent avec le vieillissement, il est nécessaire de contrôler la température limite supérieure de la température du cuivre au cours de l'essai, au moins sur une barre/bobine. La température limite inférieure doit être comprise entre 30 °C et 50 °C.

Le temps imparti au chauffage comme au refroidissement doit être de 30 min à 60 min, ainsi que montré à la Figure 2. Le système d'isolation à soumettre aux essais et celui de référence doivent être testés avec le même cycle, étant entendu que les températures limites

supérieures d'essai seront différentes si les classes de température des systèmes d'isolation diffèrent.

NOTE 2 Certains systèmes d'isolation ont une température de ramollissement supérieure à la température limite supérieure. Ceci peut influencer les résultats d'essai, en particulier en comparant les résultats à un système d'isolation ayant une température de transition vitreuse inférieure.

NOTE 3 Pour des machines avec des conditions thermiques de service particulières, des durées plus courtes peuvent être utilisées.

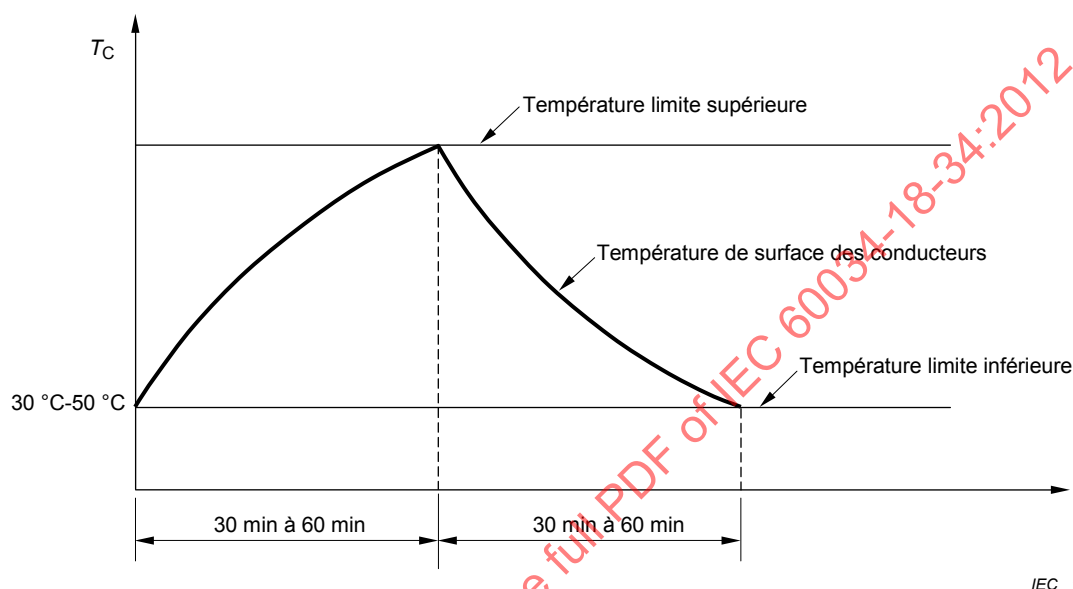


Figure 2 – Schéma du cycle de chauffage et de refroidissement

5.2 Nombre de cycles

Les éprouvettes doivent être soumises à un minimum de 500 cycles thermiques.

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

6.1 Fausse encoche

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

- La longueur des fausses encoches et la partie rectiligne hors encoche des barres/bobines doivent être les mêmes que celles d'une machine effective. Voir Figure 1.
- On choisira plutôt des fausses encoches à tôles empilées, cependant d'autres modèles représentant de façon adéquate la surface d'une encoche et les caractéristiques mécaniques de circuits à tôles peuvent être utilisés. Il convient d'éviter autant que possible les déformations dimensionnelles de la structure de l'encoche. Il convient d'inclure de préférence des événements de ventilation. Il convient qu'ils soient similaires en largeur, et qu'ils produisent une usure par glissement de la surface de l'isolation similaire à celle d'une machine réelle.
- Les barres/bobines doivent être montées en fausses encoches comme dans les encoches d'une vraie machine, en utilisant les procédures et les composants normaux de montage. Le serrage des cales et tout système éventuel de remplissage d'encoche doivent être uniformes axialement. Il convient de préférence que le modèle soit orienté horizontalement.