

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Rotating electrical machines –

Part 18-32: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation by electrical endurance

Machines électriques tournantes –

Partie 18-32: Évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Évaluation par endurance électrique



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 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
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

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.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60034-18-32

Edition 1.0 2010-10

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Rotating electrical machines –

Part 18-32: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation by electrical endurance

Machines électriques tournantes –

Partie 18-32: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation par endurance électrique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

Q

ICS 29.160

ISBN 978-2-88912-225-7

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 General considerations.....	7
4.1 Relationship to Part 1 of IEC 60034-18.....	7
4.2 Selection and designation of test procedures	7
4.3 Reference insulation system.....	7
4.4 Test procedures (IEC 61251).....	8
4.5 Extent of tests	8
5 Test objects.....	9
5.1 Construction of test objects	9
5.2 Number of turns	9
5.3 Number of test specimens	9
5.4 Initial quality control tests.....	9
6 Electrical ageing.....	9
6.1 Voltage levels and intended test lives.....	9
6.2 Test temperatures during electrical endurance testing.....	10
6.3 Ageing procedure for the mainwall insulation.....	10
6.4 Ageing procedure for the turn insulation	10
6.5 Maintenance of stress grading coatings.....	10
7 Diagnostic sub-cycle	11
7.1 General.....	11
7.2 Voltage tests	11
7.3 Other diagnostic tests.....	11
8 Failures	11
8.1 Failure location and verification	11
8.2 Failed specimen observations	12
8.3 Dimensional measurements.....	12
9 Functional evaluation of the data	12
9.1 General.....	12
9.2 Full evaluation.....	12
9.3 Reduced evaluation.....	14
9.4 Recommended data to be recorded.....	15
Bibliography.....	17
Figure 1 – Comparison of ageing data from candidate (C) and reference (R) insulation systems showing qualification.....	13
Figure 2 – Comparison of ageing data from candidate and reference insulation systems showing failure to qualify	14
Figure 3 – Comparison of reduced evaluation test data from four separate candidate systems with that from the reference system.....	15
Table 1 – Test procedure designations	7

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

**Part 18-32: Functional evaluation of insulation systems –
Test procedures for form-wound windings –
Evaluation by electrical endurance**

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 60034-18-32 has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

This first edition cancels and replaces IEC/TS 60034-18-32, published in 1995 and constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to the previous technical specification are as follows.

- a) simplification of clauses;
- b) reduction in the number of test procedures;
- c) inclusion of full bars and coils as test objects;
- d) a new clause dealing with failures and failure criteria.

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

CDV	Report on voting
2/1580/CDV	2/1602/RVC

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

A list of all parts of the IEC 60034 series, published under the general title *Rotating electrical machines*, can be found on the IEC website.

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

The committee has decided that the contents of this amendment and the base 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

Part 1 of IEC 60034-18 presents general principles for the evaluation of insulation systems used in rotating electrical machines.

This standard deals exclusively with insulation systems for form-wound windings and concentrates on electrical functional evaluation.

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 18-32: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation by electrical endurance

1 Scope

This part of IEC 60034-18 describes test procedures for the evaluation of electrical endurance of insulation systems for use in a.c. or d.c. rotating electrical machines using form-wound windings. The test procedures are comparative in nature, such that the performance of a candidate insulation system is compared to that of a reference insulation system with proven service experience. The test procedures are principally directed at the insulation systems in air-cooled machines but may also be used for evaluating parts of the insulation systems in hydrogen cooled machines. Note that the qualification procedures of inverter duty insulation systems for form-wound windings can be found in IEC 60034-18-42.

2 Normative references

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

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

IEC 60034-15:2009, *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*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

mainwall insulation

main electrical insulation that separates the conductors from the earthed stator/rotor core in motor and generator windings

3.2

turn insulation

electrical insulation that covers each conductor in coils/bars

3.3

interturn insulation

electrical insulation that separates the conductor turns from each other in coils/bars

3.4

corona protection material

material which is used to coat a stator coil/bar within the slot portion of the stator core to avoid slot discharges

3.5

stress grading material

material generally having a non-linear resistivity characteristic, applied to the endwindings of stators to reduce the maximum surface electrical stress

4 General considerations

4.1 Relationship to Part 1 of IEC 60034-18

The principles of Part 1 of IEC 60034-18 should be followed unless the recommendations of this International Standard indicate otherwise.

4.2 Selection and designation of test procedures

One or more of the procedures in this International Standard should be suitable for the majority of evaluations. Evaluation is usually performed by the manufacturer of the machine/coils or by a third party laboratory. It is the manufacturer's responsibility to justify the most suitable procedure in Table 1 on the basis of past experience and knowledge of the insulation systems to be compared.

The test procedure should be selected from Table 1 and designated by IEC 60034-18-32 procedure N, where N is the designation given in the Table 1. Subclauses 4.3, 4.4 and 4.5 give guidance on how to select the test procedure.

Table 1 – Test procedure designations

Designation of test procedure N	Applied ageing voltage		Diagnostic tests		
	Mainwall insulation (6.3)	Interturn insulation (6.4)	Mainwall insulation (7.2.1)	Interturn insulation (7.2.2 or 7.2.3)	Stress grading (7.3)
AA	Constant	None	Not required (A)	No test (A)	Optional (D)
CA	Constant	None	Other test (C)	No test (A)	Optional (D)
AB	Constant	Yes	Not required (A)	Impulse test (B)	Optional (D)

NOTE 1 The meaning of the letters of the diagnostic test are as follows: A – No test; B – Impulse test; C – Other test (such as dissipation factor and partial discharge tests); D – Visual observation.

NOTE 2 Where a diagnostic test is not required on the mainwall insulation, the ageing voltage acts simultaneously as the diagnostic factor.

All the above tests are carried out at room temperature. However, if they are to be performed at any other temperature (see 6.2.2), the designation of the test procedure shall include the Celsius temperature in brackets, e.g. AA(190). Each of the procedures may be used for the full evaluation according to 4.5.1 or for the reduced evaluation according to 4.5.2.

Procedure AA is the preferred choice if the manufacturer has no past experience or knowledge of the candidate system and the behaviour of the mainwall insulation is defined.

4.3 Reference insulation system

A reference insulation system should be tested using a test procedure equivalent to that used for the candidate system (see IEC 60034-18-1). The reference insulation system should have service experience at not less than 75 % of the intended maximum rated voltage of the candidate system. When extrapolation of the insulation thickness is used, some information should be provided showing the correlation between electrical lifetime and electrical stress for the different insulation thicknesses.

4.4 Test procedures (IEC 61251)

4.4.1 General

Electrical ageing tests are usually performed at fixed voltage levels until failure. From such tests, characteristic times to failure at each voltage level are obtained. The results for both the candidate system and the reference system should be reported on a graph, as shown by the example in Figure 1, and compared. There is no proven physical basis for extrapolation of this characteristic to the service voltage level $U_N/\sqrt{3}$, where U_N is the r.m.s. rated phase to phase voltage. Statistical evaluation of the results of testing should be performed according to IEC 62539.

4.4.2 Electrical ageing of the mainwall insulation

In service, electrical ageing of the mainwall insulation is primarily caused by continuous electrical stress at power frequency. In addition, the insulation is required to withstand transient over-voltages arising from switching surges or inverter supply. The ability of the mainwall insulation to withstand transient over-voltages from converter supplies may be demonstrated by the system's performance using IEC 60034-18-42. This standard describes voltage ageing of the mainwall insulation, carried out at power frequency or at a frequency up to 10 times greater.

4.4.3 Electrical ageing of the turn insulation

Electrical ageing of the turn insulation can arise due to the steady-state stress applied across the mainwall insulation. This could be particularly significant at the edges of the conductors where the electrical stress reaches a maximum.

Where multiturn coils or bars are used, the power frequency voltage between turns is sufficiently low that ageing due to this electric stress is not of major significance. However, steep-fronted surges on the winding caused by switching and other disturbances can generate sufficient stress between turns for ageing to take place. Since the waveforms and frequency of occurrence are variable and dependent upon circuit parameters, this International Standard recommends that, for comparison purposes, electrical ageing of the turn insulation be performed using IEC 60034-18-42.

4.5 Extent of tests

4.5.1 Full evaluation

The extent of the electrical functional tests will depend upon the purpose of the evaluation. A full evaluation will be needed where there are substantial differences in the compositions of the reference and candidate systems.

4.5.2 Reduced evaluation

There are situations when it will be sufficient to carry out reduced evaluation using the minimum number of test specimens and the middle voltage level from the range of reference tests.

Comparison of a candidate insulation system to a reference system, where there are no intended or only minor differences in composition or manufacturing procedures (so-called minor changes, see IEC 60034-18-1), may be carried out using only one voltage level but with the recommended minimum number of test specimens (see 5.3). Reduced evaluation is allowed only if the rated voltages are the same for both systems.

An example of a minor change might be the sourcing of the same material from a different supplier or a change of pulping process. An example of a minor processing change might be the installation of a new controller or new pipework in a vacuum pressure impregnation (VPI) process. It should be emphasized that a minor change is one which is not expected to have a

significant effect on the insulation system. It is the responsibility of the manufacturer to justify the use of the reduced qualification procedure

5 Test objects

5.1 Construction of test objects

Test objects should preferably be complete bars or coils made to normal manufacturing standards. Alternatively, they may be constructed to represent the configuration of the finished winding component to be evaluated and be subjected to the full normal or intended manufacturing processes. When using separate coils or bars as models, creepage distances and any necessary voltage grading are to be appropriate to the stresses applied during testing. An electrode should extend the full slot length of the model and encircle the entire circumference of the coil cross-section.

The sample preparation and test procedures described in IEC 60034-18-42 may be used for qualifying stress grading systems applied to endwinding insulation.

5.2 Number of turns

For the turn insulation, it is generally necessary to use complete coils in order to include the effects of shaping and conductor reinforcement. The number of turns and the thickness of the turn insulation should be such that when the test voltage chosen in accordance with 6.1 is applied, the turn dielectric stress is not less than the highest that would be imposed by applying the appropriate test voltage to any design of coil for which the insulation system can be used.

Where a power frequency voltage is to be applied between the turns, the coil should be wound with two parallel conductors, each insulated with turn insulation, or the coil has to be cut in the end windings. When using VPI coils, the cut-through and separation of the conductors in this area have to be done before impregnation. If the test procedure chosen (see 4.2) does not apply a power frequency voltage between the turns, the test object can be a multiturn coil wound in the normal manner with a single (or stranded) conductor.

5.3 Number of test specimens

An adequate number of test specimens shall be aged at each test voltage level in order to obtain statistical confidence. This number should not be less than five.

5.4 Initial quality control tests

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

- visual inspection of the test specimens;
- high-voltage tests according to IEC 60034-1;
- dissipation factor test or/and partial discharge test.

6 Electrical ageing

6.1 Voltage levels and intended test lives

For full evaluation as described in 4.5.1, at least three power frequency voltages should be selected so that the intended mean time to failure at the highest voltage is about 100 h, and at the lowest voltage above 5 000 h. For reduced evaluation where only one voltage level is required (see 4.5.2), it should be chosen so that the intended mean time to failure is about 1 000 h. The alternating voltage applied to the test objects should be maintained within $\pm 3\%$.

6.2 Test temperatures during electrical endurance testing

6.2.1 Electrical ageing at room temperature

Electrical ageing is preferably carried out in air at room temperature at voltages and/or frequencies higher than those in the steady-state operating conditions in order to accelerate the effects of electrical stress.

6.2.2 Electrical ageing at elevated temperature

Any appropriate means of heating may be used when the electrical ageing tests are performed at elevated temperatures. The temperature rise due to the applied electrical stress can affect the results, especially when using increased frequency, and shall be recorded. If thermal ageing does occur, the testing should follow the procedures in IEC 60034-18-33 for multifactor testing.

6.3 Ageing procedure for the mainwall insulation

The electrical stress is applied between the stator core or the outer conductive layer on the surface of the test specimen and the conductors. If the test object is a multiturn coil, both the mainwall insulation and the turn insulation are aged by the electrical stress during this period. For test procedures with sub-cycles (Clause 7), the duration of these sub-cycles should be such that approximately ten sub-cycles are performed on a test specimen having a median life. Higher than power frequency is allowed to shorten the test times but experience has shown that the maximum acceptable acceleration factor is 10 times the power frequency. Care should be taken that the dielectric losses do not increase the temperature of the insulation so much that the results are affected. This is especially important at elevated temperatures. The same frequency should be used for the candidate and reference insulation system. Increased frequency test results may only be used for direct comparison if the lives of the systems are affected similarly by the increase of frequency.

6.4 Ageing procedure for the turn insulation

Ageing of the turn insulation due to repetitive transient over-voltages is evaluated according to procedure AB in Table 1. The mainwall insulation ageing sub-cycle is followed by a turn insulation ageing sub-cycle consisting of the application of a power frequency voltage between turns for 10 min. This voltage shall be

$$\frac{1,5 \times U_N}{n}$$

where where U_N is the rated voltage of the insulation in kV and n is the number of turns, but not less than $0,3 \times U_N$.

The temperature rise due to the applied electrical stress can affect the results, especially when using increased frequency and should be recorded. Increased frequency test results may only be used for direct comparison if the lives of the systems are affected similarly by the increase in frequency.

6.5 Maintenance of stress grading coatings

A stress grading coating is usually applied to the outer surface of the coil or bar beyond the earthed semi-conductive slot coating. The stress grading coating may take the form of paints or tapes or a combination of the two. During the electrical endurance test, deterioration may occur which does not result in insulation failure. Remedial action to the stress grading material and forced air cooling are permitted during the progress of the voltage endurance test on the basis that it is the mainwall insulation that is being tested rather than the stress grading system.

7 Diagnostic sub-cycle

7.1 General

Following each ageing sub-cycle, a diagnostic sub-cycle can be performed. Failure of any part of the test specimen during a diagnostic test constitutes failure of the whole system and shall be reported as such. The appropriate voltage tests are selected according to the chosen test procedure in 4.2.

7.2 Voltage tests

7.2.1 Mainwall insulation test

The diagnostic test on the mainwall insulation consists of three successive applications of a 1,2/50 μ s impulse voltage with a peak value of $U_p = (4 U_N + 5 \text{ kV})$. Alternatively, a mainwall power frequency test according to 4.4 of IEC 60034-15 may be used. In this case, an r.m.s. voltage of $(2 U_N + 1 \text{ kV})$ is applied for 1 min between coil terminals and earth. The applied r.m.s. voltage is then increased at the rate of 1 kV/s up to $2 (2 U_N + 1 \text{ kV})$, and then immediately reduced at a rate of at least 1 kV/s to zero.

7.2.2 Turn insulation impulse test

For test objects comprising multiturn coils wound with a single or stranded conductor the diagnostic test of the turn insulation is carried out by an impulse voltage test. The amplitude (peak) shall be given by the formula $U'_p = 0,65 (4 U_N + 5 \text{ kV})$, where U_N is the rated voltage in kV (see IEC 60034-15). The number of impulses to be applied is at least 5.

7.2.3 Turn insulation power frequency test

For test objects comprising parallel isolated conductors a power frequency voltage of an appropriate magnitude shall be applied between the turns for 1 min. Voltage of an appropriate magnitude should be higher or equal to the highest ageing voltage.

7.3 Other diagnostic tests

Optional diagnostic measurements may be performed for information or to determine end of test life. These may replace the voltage tests. Factors such as insulation resistance, loss tangent, and partial discharges are examples. An end-point criterion may be established for each diagnostic test, with suitable justification reported.

For the stress grading system, there are no electrical tests defined for diagnostic purposes but it may be useful to record the condition of the material, viewed with the unaided eye, in regard to colour and surface imperfections, such as blistering and cracking.

8 Failures

8.1 Failure location and verification

Failure of a specimen occurs when any electrical breakdown of the mainwall insulation occurs. This will result in the over-current detection system interrupting current to the high voltage transformer. Failure of the insulation should be verified by re-applying voltage gradually from zero. A specimen insulation failure will prevent the reapplication of the full test voltage. Locating the failure site is desirable and may be undertaken by seeing arcing or heating at the failure site as the voltage is raised. When specimen failure has been verified the failed sample should be isolated to allow testing to continue on the remaining samples.

8.2 Failed specimen observations

Each failed specimen should be examined to ensure that the failure is valid for statistical interpretation. This may require some specimen dissection in the area around the insulation puncture to identify the failure location and its cause.

8.3 Dimensional measurements

The thickness of the insulation wall (mainwall plus turn plus strand) shall be determined at or near the voltage endurance failure site.

9 Functional evaluation of the data

9.1 General

The evaluation of the test data should follow the guidelines set out below. Under the assumption of a Weibull distribution, the appropriate statistical analysis should be applied to calculate the significance of the candidate sample life with regard to that of the reference sample (see IEC 62539).

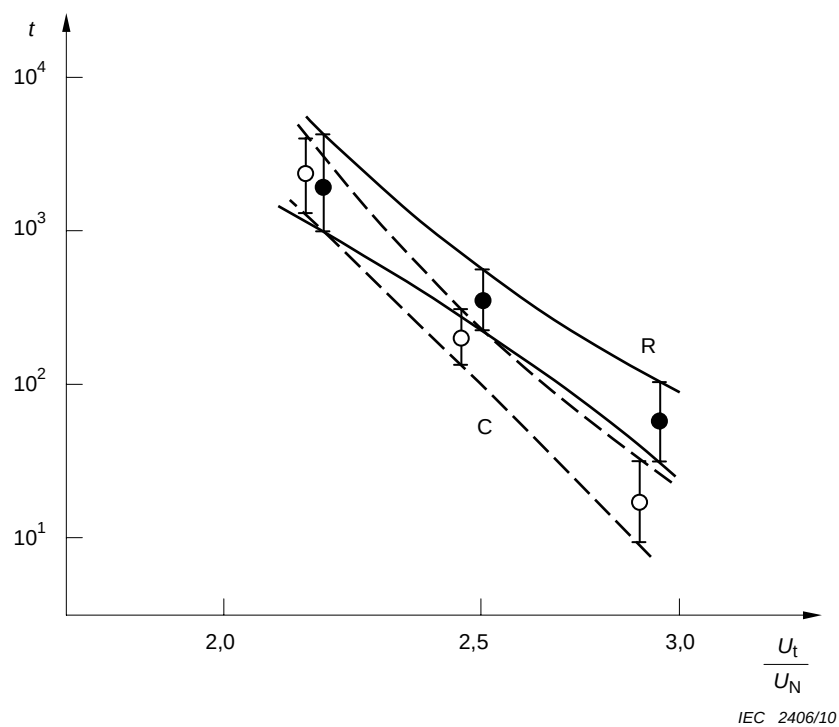
The general rule is that the candidate insulation system is considered to be qualified if the 90 % confidence interval of the used probability distribution falls above or within that obtained from the reference system (see 4.1 in IEC 60034-18-1).

9.2 Full evaluation

Electrical endurance graphs of the candidate and the reference system are plotted as a log-log representation of the time to failure (t), as a function of the ratio of test voltage (U_t) and rated voltage (U_N), where U_N is the rated voltage of the reference system and the candidate system. The candidate system is qualified if

- a) the upper 90 % confidence limit of the candidate system exceeds the upper 90 % confidence limit of the reference system over the range of reference system test voltages, or
- b) the lower 90 % confidence limit of the candidate system exceeds or is equal to the lower 90 % confidence limit of the reference system at the lowest test voltage and the slope of the regression line of the mean values of the candidate system is steeper than that of the reference system.

Ageing results for a candidate system which satisfies condition b) are shown in Figure 1. An example of a candidate system which fails to qualify in respect of either condition a) or b) is shown in Figure 2.

**Key**

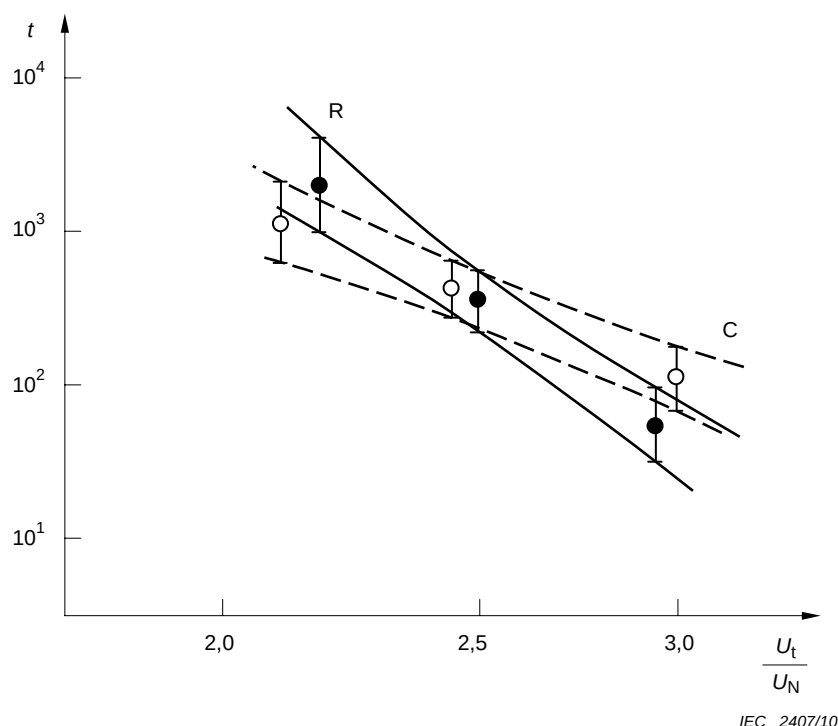
R ageing data from the reference insulation system (R) showing the 90 % confidence limits

C ageing data from the candidate insulation system (C) showing the 90 % confidence limits

t time in hours

U_t/U_N ratio of test voltage to rated voltage

Figure 1 – Comparison of ageing data from candidate (C) and reference (R) insulation systems showing qualification



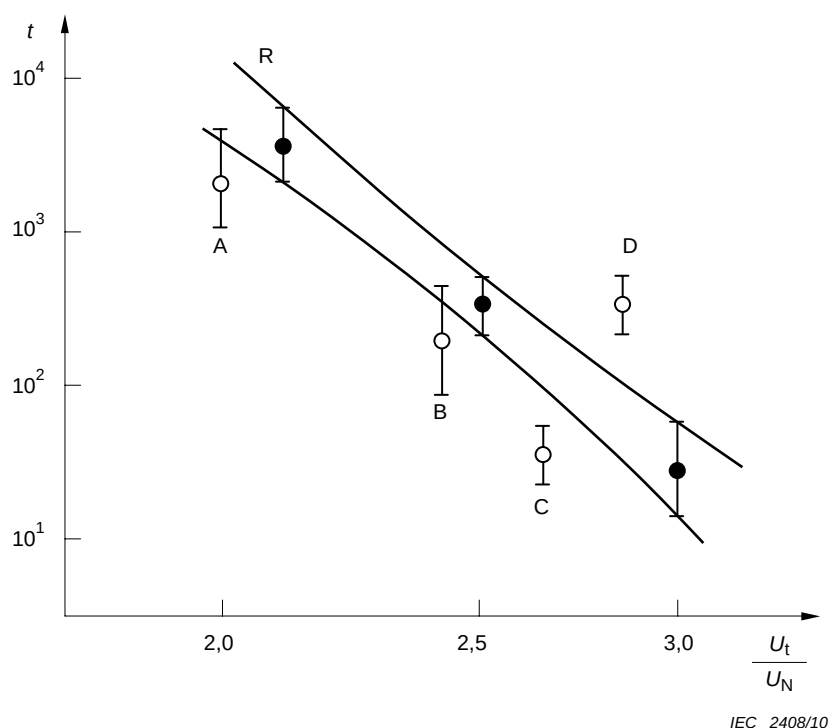
Key

- R ageing data from the reference insulation system (R) showing the 90 % confidence limits
- C ageing data from the candidate insulation system (C) showing the 90 % confidence limits
- t time in hours
- U_t/U_N ratio of test voltage to rated voltage

Figure 2 – Comparison of ageing data from candidate and reference insulation systems showing failure to qualify

9.3 Reduced evaluation

For reduced evaluation using a single voltage (see 4.5.2), the basis of analysis shall be as shown in Figure 3, where the 90 % tolerance of the 63 % quantile of the ageing results for the candidate system is compared with the 90 % confidence limits of the reference ageing line at the same quantile. If a partial overlap occurs within the voltage range of the ageing tests on the reference system, as shown by candidate system B, it is qualified. Qualification is not achieved in the case of candidate system A because the measurement is outside the voltage range used to produce the reference system ageing line. Nor is qualification achieved in the case of candidate system C since no overlap occurs. Candidate system D is qualified because the results exceed those of the reference system.



Key

- R ageing data from the reference insulation system showing the 90 % confidence limits
- A ageing results for candidate system A (not qualified)
- B ageing results for candidate system B (qualified)
- C ageing results for candidate system C (not qualified)
- D ageing results for candidate system D (qualified)
- t time in hours
- U_t/U_N ratio of test voltage to rated voltage

Figure 3 – Comparison of reduced evaluation test data from four separate candidate systems with that from the reference system

9.4 Recommended data to be recorded

The following items are suggested for inclusion in test records:

- ambient temperature and humidity in the test area, if the specimens are tested at room temperature;
- applied voltage, expressed in equivalent r.m.s.;
- frequency of applied voltage in Hertz;
- total endurance time of each sample;
- results of any preliminary or intermediate diagnostic tests or measurements;
- observations of failure locations;
- observations on the nature of failure or of stress-grading damage;
- voltage endurance test temperature, i.e., the temperature of the thermocouples embedded in the heater plates;
- minimum and maximum test voltage and test temperature during the test.

It will also be desirable to include other information, such as the nature of the samples, the nature of the electrodes and the nature of the stress-grading material.

Bibliography

IEC 60034-18-33, *Rotating electrical machines – Part 18-33: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Multifactor evaluation by endurance under simultaneous thermal and electrical stresses*

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 61251, *Electrical insulating materials – A.C. voltage endurance evaluation – Introduction*

IEC 62539, *Guide for the statistical analysis of electrical insulation breakdown data*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	19
INTRODUCTION.....	21
1 Domaine d'application	22
2 Références normatives.....	22
3 Termes et définitions	22
4 Considérations générales	23
4.1 Relation avec la Partie 1 de la CEI 60034-18	23
4.2 Sélection et désignation des procédures d'essai.....	23
4.3 Système d'isolation de référence.....	24
4.4 Procédures d'essai (CEI 61251)	24
4.5 Etendue des essais	24
5 Epreuves.....	25
5.1 Construction des éprouvettes	25
5.2 Nombre de spires	25
5.3 Nombre d'échantillons	26
5.4 Essais préliminaires de contrôle qualité.....	26
6 Vieillesse électrique	26
6.1 Niveaux de tension et durées prévues pour les essais.....	26
6.2 Températures d'essai durant l'essai d'endurance électrique	26
6.3 Procédure de vieillesse pour l'isolation principale	26
6.4 Procédure de vieillesse pour l'isolation des spires	27
6.5 Maintenance des revêtements de répartition de contrainte	27
7 Sous-cycle de diagnostic	27
7.1 Généralités.....	27
7.2 Essais de tension	27
7.3 Autres essais de diagnostic.....	28
8 Défaillances	28
8.1 Emplacement et vérification des défaillances	28
8.2 Observation des échantillons présentant une défaillance.....	28
8.3 Mesures des dimensions	28
9 Evaluation fonctionnelle des données.....	29
9.1 Généralités.....	29
9.2 Evaluation complète	29
9.3 Evaluation réduite	31
9.4 Données qu'il est recommandé d'enregistrer	32
Bibliographie.....	34
Figure 1 – Comparaison des données de vieillesse des systèmes d'isolation candidat (C) et de référence (R) montrant la qualification	30
Figure 2 – Comparaison des données de vieillesse des systèmes d'isolation candidat et de référence montrant l'échec de la qualification	31
Figure 3 – Comparaison des données d'essai d'évaluation réduites de quatre systèmes candidats séparés avec celles du système de référence	32
Tableau 1 – Désignations de la procédure d'essai	23

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

**Partie 18-32: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation –
Procédures d'essai pour enroulements préformés –
Evaluation par endurance électrique**

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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60034-18-32 a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

Cette première édition annule et remplace la CEI/TS 60034-18-32, parue en 1995, dont elle constitue une révision technique.

Les principales modifications techniques par rapport à la spécification technique précédente sont les suivantes:

- a) simplification des articles;
- b) diminution du nombre de procédures d'essai;
- c) inclusion de barres et bobines complètes comme éprouvettes;

d) nouvel article traitant des défaillances et des critères de défaillance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
2/1580/CDV	2/1602/RVC

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60034, présentées sous le titre général *Machines électriques tournantes*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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.

INTRODUCTION

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

La présente norme traite uniquement des systèmes d'isolation pour les enroulements préformés et porte sur l'évaluation fonctionnelle électrique.

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 18-32: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation par endurance électrique

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60034-18 décrit les procédures d'essai pour l'évaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation utilisés dans les machines électriques tournantes à courant continu ou alternatif et à enroulements préformés. Les procédures d'essai sont comparatives puisque les performances d'un système d'isolation candidat sont comparées à celles d'un système d'isolation de référence dont l'expérience en service a été démontrée. Les procédures d'essai sont principalement destinées aux systèmes d'isolation des machines refroidies par air, mais elles peuvent aussi être utilisées pour évaluer des parties des systèmes d'isolation dans des machines refroidies par hydrogène. On notera que l'on peut trouver dans la CEI 60034-18-42 les procédures de qualification d'un système d'isolation d'onduleur pour enroulements préformés.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

CEI 60034-15:2009, *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*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

isolation principale

isolation électrique principale séparant les conducteurs du noyau de rotor/stator relié à la terre dans des enroulements de moteurs et de générateurs

3.2

isolation des spires

isolation électrique recouvrant chaque conducteur des bobines/barres

3.3

isolation entre spires

isolation électrique séparant les unes des autres les spires de conducteur des bobines/barres

3.4

matériau de protection contre les effluves

matériau utilisé pour recouvrir une bobine/barre de stator dans la partie d'encoche du noyau du stator pour éviter des décharges dans l'encoche

3.5

matériau de répartition de contrainte

matériau ayant généralement une caractéristique de résistivité non linéaire appliquée aux développantes des stators pour diminuer la contrainte électrique de surface maximale

4 Considérations générales

4.1 Relation avec la Partie 1 de la CEI 60034-18

Il convient de suivre les principes de la Partie 1 de la CEI 60034-18, sauf indication contraire dans les recommandations de la présente Norme internationale.

4.2 Sélection et désignation des procédures d'essai

Il convient qu'une ou plusieurs des procédures de la présente Norme internationale conviennent pour la majorité des évaluations. L'évaluation est habituellement effectuée par le fabricant de la machine/des bobines ou par un laboratoire tiers. La justification de la procédure la plus adaptée du Tableau 1 est de la responsabilité du fabricant, en se basant sur l'expérience antérieure et sur sa connaissance des systèmes d'isolation à comparer.

Il convient de sélectionner la procédure d'essai dans le Tableau 1 et de la désigner comme Procédure N de la CEI 60034-18-32, où N est la désignation indiquée dans le Tableau 1. Les paragraphes 4.3, 4.4 et 4.5 donnent des lignes directrices sur la façon de sélectionner la procédure d'essai.

Tableau 1 – Désignations de la procédure d'essai

Désignation de la procédure d'essai N	Tension de vieillissement appliquée		Essais de diagnostic		
	Isolation principale (6.3)	Isolation entre spires (6.4)	Isolation principale (7.2.1)	Isolation entre spires (7.2.2 ou 7.2.3)	Répartition de contrainte (7.3)
AA	Constante	Néant	Non requise (A)	Pas d'essai (A)	Facultative (D)
CA	Constante	Néant	Autre essai (C)	Pas d'essai (A)	Facultative (D)
AB	Constante	Oui	Non requise (A)	Essai d'impulsion (B)	Facultative (D)
NOTE 1 La signification des lettres de l'essai de diagnostic est la suivante: A – Pas d'essai; B – Essai d'impulsion; C – Autre essai (par exemple essais de facteur de dissipation et de décharges partielles); D – Observation visuelle. NOTE 2 Lorsqu'un essai de diagnostic sur l'isolation principale n'est pas requis, la tension de vieillissement vaut en même temps en tant que facteur de diagnostic.					

Tous les essais ci-dessus sont effectués à la température ambiante. Si toutefois ils doivent être effectués à une quelconque autre température (voir 6.2.2), la désignation de la procédure d'essai doit inclure la température exprimée en degrés Celsius, placée entre parenthèses, par exemple AA(190). Chacune des procédures peut être utilisée pour l'évaluation complète selon 4.5.1, ou pour l'évaluation réduite selon 4.5.2.

La procédure AA constitue le choix préférentiel si le fabricant n'a pas d'expérience antérieure ou de connaissance du système candidat et si le comportement de l'isolation principale est défini.

4.3 Système d'isolation de référence

Il convient de soumettre à essai un système d'isolation de référence en utilisant une procédure d'essai équivalente à celle qui est utilisée pour le système candidat (voir CEI 60034-18-1). Il convient que le système d'isolation de référence ait une performance en service supérieure ou égale à 75 % de la tension assignée maximale prévue du système candidat. Lorsqu'on utilise une extrapolation de l'épaisseur d'isolation, il convient de fournir des informations indiquant la corrélation entre la durée de vie électrique et la contrainte électrique pour les différentes épaisseurs d'isolation.

4.4 Procédures d'essai (CEI 61251)

4.4.1 Généralités

Les essais de vieillissement électrique sont habituellement réalisés à des niveaux de tension fixes jusqu'à ce qu'une défaillance se produise. A partir de ces essais, on obtient des durées caractéristiques jusqu'à défaillance à chaque niveau de tension. Il convient de reporter sur une courbe les résultats à la fois du système candidat et du système de référence, comme indiqué par l'exemple de la Figure 1, puis de les comparer. Il n'existe pas de preuve physique de l'extrapolation de cette caractéristique jusqu'au niveau de tension de service $U_N/\sqrt{3}$, où U_N est la tension efficace assignée entre phases. Il convient d'effectuer une évaluation statistique des résultats de l'essai conformément à la CEI 62539.

4.4.2 Vieillissement électrique de l'isolation principale

Durant le service, le vieillissement électrique de l'isolation principale est principalement dû à une contrainte électrique continue à la fréquence d'alimentation. De plus, il est requis que l'isolation supporte les surtensions transitoires provenant des surtensions de commutation ou de l'alimentation par onduleur. L'aptitude de l'isolation principale à supporter des surtensions provisoires provenant des alimentations par convertisseur peut être démontrée par les performances du système en utilisant la CEI 60034-18-42. Cette norme décrit le vieillissement sous tension de l'isolation principale, effectué à la fréquence d'alimentation ou à une fréquence jusqu'à 10 fois plus grande.

4.4.3 Vieillissement électrique de l'isolation des spires

Un vieillissement électrique de l'isolation des spires peut se produire en raison de la contrainte en régime permanent appliquée de part et d'autre de l'isolation principale. Celle-ci peut être particulièrement significative sur les bords des conducteurs où la contrainte électrique atteint une valeur maximale.

Lorsqu'on utilise des bobines ou des barres à plusieurs spires, la tension à la fréquence d'alimentation entre les spires est suffisamment basse pour que le vieillissement dû à cette contrainte électrique ne soit pas d'une signification majeure. Des surtensions à fronts raides sur l'enroulement, provoquées par la commutation et par d'autres perturbations, peuvent toutefois générer une contrainte suffisante entre les spires pour qu'un vieillissement se produise. Puisque les formes d'ondes et la fréquence d'apparition sont variables et dépendent des paramètres du circuit, la présente Norme internationale recommande, à des fins de comparaison, d'effectuer un vieillissement électrique sur l'isolation des spires en utilisant la CEI 60034-18-42.

4.5 Etendue des essais

4.5.1 Evaluation complète

L'étendue des essais fonctionnels électriques dépend de l'objectif de l'évaluation. Une évaluation complète est nécessaire lorsqu'il existe des différences substantielles dans les compositions du système de référence et du système candidat.

4.5.2 Evaluation réduite

Dans certains cas, il suffit d'effectuer une évaluation réduite en utilisant le nombre minimum d'échantillons et le niveau de tension médian de la gamme d'essais de référence.

La comparaison d'un système d'isolation candidat à un système de référence où il n'y a pas de différence prévue ou seulement des différences mineures de composition ou de procédures de fabrication (appelées modifications mineures, voir la CEI 60034-18-1), peut être effectuée en utilisant un seul niveau de tension mais avec le nombre minimum recommandé d'échantillons (voir 5.3). Une évaluation réduite n'est autorisée que si les tensions assignées sont les mêmes pour les deux systèmes.

Un exemple de modification mineure peut être la provenance du même matériau d'un fournisseur différent ou un changement de processus de réduction en pâte. Un exemple de modification mineure de traitement peut être l'installation d'un nouveau contrôleur ou d'une nouvelle tuyauterie dans un processus d'imprégnation sous vide (VPI¹⁾). Il convient d'insister sur le fait qu'une modification mineure est une modification dont on ne s'attend pas à ce qu'elle ait un effet significatif sur le système d'isolation. La justification de l'utilisation de la procédure de qualification réduite est de la responsabilité du fabricant.

5 Epreuves

5.1 Construction des éprouvettes

Il convient que les éprouvettes soient de préférence des barres ou des bobines complètes réalisées avec les normes de fabrication normales. Sinon, elles peuvent être réalisées de manière à représenter la configuration du composant d'enroulement fini à évaluer et à soumettre aux processus de fabrication complets normaux ou prévus. Lorsqu'on utilise comme modèles des bobines ou des barres séparées, les lignes de fuite et tous les niveaux de tension nécessaires doivent être appropriés aux contraintes appliquées durant l'essai. Il convient qu'une électrode s'étende sur toute la longueur de l'encoche du modèle et encercle toute la circonférence de la section transversale d'une bobine.

La préparation de l'échantillon et les procédures d'essai décrites dans la CEI 60034-18-42 peuvent être utilisées pour qualifier les systèmes de répartition de contrainte appliqués à l'isolation des développantes.

5.2 Nombre de spires

Pour l'isolation des spires, il est généralement nécessaire d'utiliser des bobines complètes afin d'inclure les effets de forme et le renfort de conducteur. Il convient que le nombre de spires et l'épaisseur de l'isolation des spires soient tels que lorsque la tension d'essai choisie selon 6.1 est appliquée, la contrainte diélectrique sur les spires ne soit pas inférieure à la contrainte la plus forte qui serait imposée en appliquant la tension d'essai appropriée à une conception quelconque de bobine pour laquelle on peut utiliser le système d'isolation.

Lorsqu'une tension à la fréquence d'alimentation doit être appliquée entre les spires, il convient que la bobine soit enroulée avec deux conducteurs en parallèle, chacun étant isolé avec l'isolation des spires, ou bien la bobine doit être coupée au niveau des développantes. Lorsqu'on utilise des bobines VPI, la coupe et la séparation des conducteurs dans cette zone doivent être effectuées avant imprégnation. Si la procédure d'essai choisie (voir 4.2) n'applique pas de tension à la fréquence d'alimentation entre les spires, l'éprouvette peut être une bobine normale à plusieurs spires avec un conducteur unique (ou toronné).

1) VPI = *vacuum pressure impregnation* en anglais.

5.3 Nombre d'échantillons

Un nombre adéquat d'échantillons doit faire l'objet d'un vieillissement à chaque niveau de tension d'essai pour obtenir une confiance statistique convenable. Il convient que ce nombre ne soit pas inférieur à cinq.

5.4 Essais préliminaires de contrôle qualité

Avant de commencer le premier sous-cycle de vieillissement, les essais de contrôle qualité suivants doivent être effectués:

- inspection visuelle des échantillons;
- essais à haute tension selon la CEI 60034-1;
- essai de facteur de dissipation ou/et essai de décharges partielles.

6 Vieillissement électrique

6.1 Niveaux de tension et durées prévues pour les essais

Pour l'évaluation complète telle que décrite en 4.5.1, il convient de sélectionner au moins trois tensions à la fréquence d'alimentation, de façon que la durée moyenne de fonctionnement prévue avant défaillance soit d'environ 100 h à la tension la plus élevée et supérieure à 5 000 h à la tension la plus basse. Pour une évaluation réduite lorsqu'un seul niveau de tension est requis (voir 4.5.2), il convient de la sélectionner de façon que la durée moyenne de fonctionnement prévue avant défaillance soit d'environ 1 000 h. Il convient de maintenir à $\pm 3\%$ la tension alternative appliquée aux éprouvettes.

6.2 Températures d'essai durant l'essai d'endurance électrique

6.2.1 Vieillissement électrique à température ambiante

Le vieillissement électrique est effectué de préférence dans l'air à la température ambiante à des tensions et/ou fréquences supérieures à celles des conditions de fonctionnement stable, afin d'accélérer les effets de la contrainte électrique.

6.2.2 Vieillissement électrique à température élevée

Tous les moyens d'échauffement appropriés peuvent être utilisés lorsque les essais de vieillissement électrique sont effectués à des températures élevées. L'augmentation de température due à la contrainte électrique appliquée peut influencer sur les résultats, en particulier lorsqu'on utilise une fréquence plus élevée, et doit être enregistrée. Si un vieillissement thermique se produit, il convient que l'essai suive les procédures de la CEI 60034-18-33 pour l'essai à plusieurs facteurs.

6.3 Procédure de vieillissement pour l'isolation principale

La contrainte électrique est appliquée entre le cœur du stator ou la couche conductrice externe sur la surface de l'échantillon et les conducteurs. Si l'éprouvette est une bobine à plusieurs spires, l'isolation principale et l'isolation des spires sont toutes deux vieilles par la contrainte électrique durant cette période. Pour les procédures d'essai avec des sous-cycles (Article 7), il convient que la durée de ces sous-cycles soit telle qu'approximativement dix sous-cycles soient effectués sur un échantillon ayant une durée de vie médiane. Une fréquence supérieure à la fréquence d'alimentation est autorisée pour diminuer les durées d'essai, mais l'expérience a montré que le facteur d'accélération maximale acceptable était de 10 fois la fréquence d'alimentation. Il convient de veiller à ce que les pertes diélectriques ne fassent pas trop augmenter la température de l'isolation jusqu'à affecter les résultats. Ceci est particulièrement important aux températures élevées. Il convient d'utiliser la même fréquence pour les systèmes d'isolation candidat et de référence. Les résultats d'essai à fréquence plus élevée ne peuvent être utilisés pour une comparaison directe que si les

durées de vie des systèmes sont affectées de façon similaire par l'augmentation de fréquence.

6.4 Procédure de vieillissement pour l'isolation des spires

Le vieillissement de l'isolation des spires dû à des surtensions transitoires répétées est évalué selon la procédure AB du Tableau 1. Le sous-cycle de vieillissement de l'isolation principale est suivi d'un sous-cycle de vieillissement de l'isolation des spires consistant en l'application d'une tension à la fréquence d'alimentation entre les spires pendant 10 min. Cette tension doit être de

$$\frac{15 \times U_N}{n}$$

où U_N est la tension assignée de l'isolation en kV et n est le nombre de spires, mais pas inférieure à $0,3 \times U_N$.

L'augmentation de température due à la contrainte électrique appliquée peut influencer sur les résultats, en particulier lorsqu'on utilise des fréquences plus élevées, et il convient de l'enregistrer. Les résultats d'essai à fréquence plus élevée ne peuvent être utilisés pour une comparaison directe que si les durées de vie des systèmes sont affectées de façon similaire par l'augmentation de fréquence.

6.5 Maintenance des revêtements de répartition de contrainte

Un revêtement de répartition de contrainte est habituellement appliqué sur la surface extérieure de la bobine ou de la barre au-delà du revêtement peu conducteur de l'encoche relié à la terre. Le revêtement de répartition de contrainte peut prendre la forme de peintures ou de rubans, ou d'une combinaison des deux. Durant les essais d'endurance électrique, une détérioration peut se produire, n'entraînant pas de défaillance de l'isolation. Une mesure corrective sur le matériau de répartition de contrainte et sur le refroidissement forcé par air est autorisée au cours de l'essai d'endurance sous tension en se basant sur le fait que c'est l'isolation principale qui est soumise à essai plutôt que le système de répartition de contrainte.

7 Sous-cycle de diagnostic

7.1 Généralités

A la suite de chaque sous-cycle de vieillissement, un sous-cycle de diagnostic peut être exécuté. Une défaillance d'une quelconque partie de l'échantillon durant un essai de diagnostic constitue une défaillance de l'ensemble du système et doit être rapportée en tant que telle. Les essais de tension appropriés sont sélectionnés en fonction de la procédure d'essai choisie en 4.2.

7.2 Essais de tension

7.2.1 Essai d'isolation principale

L'essai de diagnostic sur l'isolation principale consiste en trois applications successives d'une tension de choc de $1,2/50 \mu\text{s}$, avec une valeur de crête de $U_p = (4 U_N + 5 \text{ kV})$. En variante, on peut utiliser un essai à la fréquence d'alimentation principale selon 4.4 de la CEI 60034-15. Dans ce cas, une tension efficace de $(2 U_N + 1 \text{ kV})$ est appliquée pendant 1 min entre les bornes de la bobine et la terre. La tension efficace appliquée est ensuite augmentée à la vitesse de 1 kV/s jusqu'à $2 (2 U_N + 1 \text{ kV})$, et elle est ensuite immédiatement réduite jusqu'à zéro à une vitesse d'au moins 1 kV/s .

7.2.2 Essai d'impulsion de l'isolation des spires

Pour les éprouvettes comprenant des bobines à plusieurs spires enroulées avec un conducteur unique ou toronné, l'essai de diagnostic de l'isolation des spires est effectué au moyen d'un essai de tension de choc. L'amplitude (crête) doit être donnée par la formule $U'_p = 0,65 (4 U_N + 5 \text{ kV})$, où U_N est la tension assignée en kV (voir la CEI 60034-15). Le nombre d'impulsions à appliquer est d'au moins 5.

7.2.3 Essai à la fréquence d'alimentation de l'isolation des spires

Pour les éprouvettes comprenant des conducteurs parallèles isolés, une tension à la fréquence d'alimentation d'une amplitude appropriée doit être appliquée entre les spires pendant 1 min. Il convient que la tension d'une amplitude appropriée soit supérieure ou égale à la tension de vieillissement la plus élevée.

7.3 Autres essais de diagnostic

Des mesures de diagnostic facultatives peuvent être réalisées pour information ou pour déterminer la fin de la durée de vie. Celles-ci peuvent remplacer les essais de tension. On peut citer comme exemples des facteurs tels que la résistance d'isolement, la tangente de l'angle de pertes et les décharges partielles. Un critère final peut être déterminé pour chaque essai de diagnostic, une justification convenable étant rapportée.

Pour le système de répartition de contrainte, aucun essai électrique n'est défini à des fins de diagnostic, mais il peut être utile d'enregistrer l'état du matériau observé à l'œil nu, en ce qui concerne la couleur et les imperfections de surface, par exemple le cloquage et les fissures.

8 Défaillances

8.1 Emplacement et vérification des défaillances

Une défaillance d'un échantillon survient lorsque se produit un quelconque claquage électrique de l'isolation principale. Ceci a pour conséquence que le système de détection de surintensité interrompt le courant vers le transformateur à haute tension. Il convient de vérifier toute défaillance de l'isolation en appliquant à nouveau une tension progressivement à partir de zéro. Une défaillance d'isolation de l'échantillon empêche une nouvelle application de la tension d'essai complète. La localisation de l'emplacement de la défaillance est souhaitable et elle peut être réalisée en observant la formation d'un arc ou un échauffement à l'emplacement de la défaillance, à mesure que la tension augmente. Lorsque la défaillance d'un échantillon a été vérifiée, il convient d'isoler l'échantillon défaillant pour permettre la poursuite de l'essai sur les échantillons restants.

8.2 Observation des échantillons présentant une défaillance

Il convient d'examiner chaque échantillon présentant une défaillance pour s'assurer que la défaillance est valide pour une interprétation statistique. Ceci peut nécessiter une analyse physique de l'échantillon dans la zone située autour de la perforation de l'isolation pour identifier l'emplacement de la défaillance et sa cause.

8.3 Mesures des dimensions

L'épaisseur de la paroi d'isolation (paroi principale, plus spires, plus brins) doit être déterminée à l'emplacement de la défaillance d'endurance sous tension ou à sa proximité.

9 Evaluation fonctionnelle des données

9.1 Généralités

Il convient que l'évaluation des données d'essai suive les lignes directrices présentées ci-dessous. En faisant l'hypothèse d'une distribution de Weibull, il convient d'appliquer l'analyse statistique appropriée pour calculer la signification de la durée de vie de l'échantillon candidat vis-à-vis de celle de l'échantillon de référence (voir la CEI 62539).

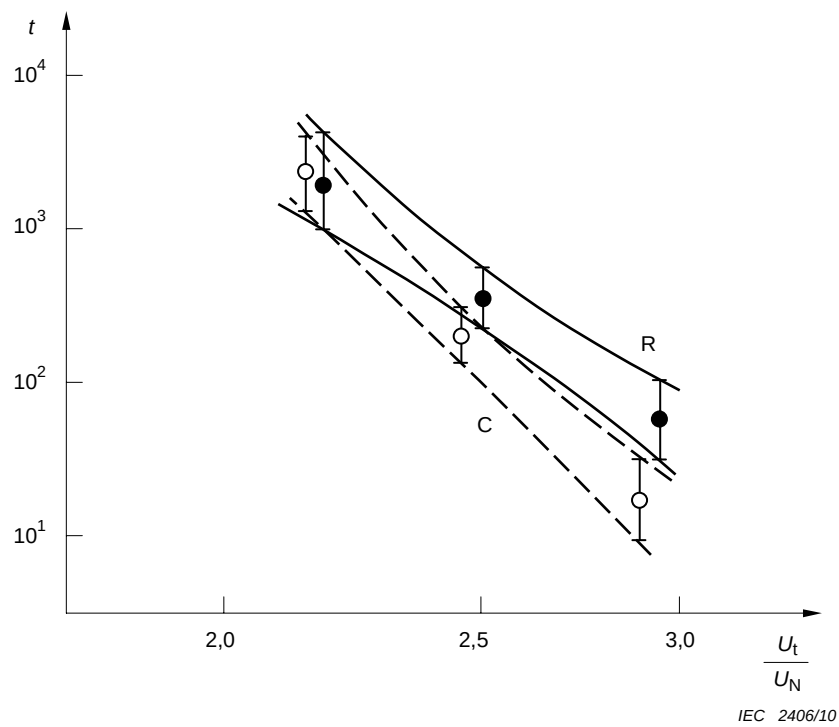
La règle générale est que le système d'isolation candidat est considéré comme qualifié si l'intervalle de confiance de 90 % de la distribution de probabilité utilisée se trouve au-dessus ou à l'intérieur de celui qui est obtenu à partir du système de référence (voir 4.1 de la CEI 60034-18-1).

9.2 Evaluation complète

Des courbes d'endurance électrique du système candidat et du système de référence sont tracées en représentation logarithmique de la durée de fonctionnement avant défaillance (t), en fonction du rapport entre la tension d'essai (U_t) et la tension assignée (U_N), où U_N est la tension assignée du système de référence et du système candidat. Le système candidat est qualifié si:

- a) la limite de confiance supérieure de 90 % du système candidat dépasse la limite de confiance supérieure de 90 % du système de référence sur la plage des tensions d'essai du système de référence, ou
- b) la limite de confiance inférieure de 90 % du système candidat dépasse ou est égale à la limite de confiance inférieure de 90 % du système de référence à la tension d'essai la plus basse, et la pente de la droite de régression des valeurs moyennes du système candidat est plus forte que celle du système de référence.

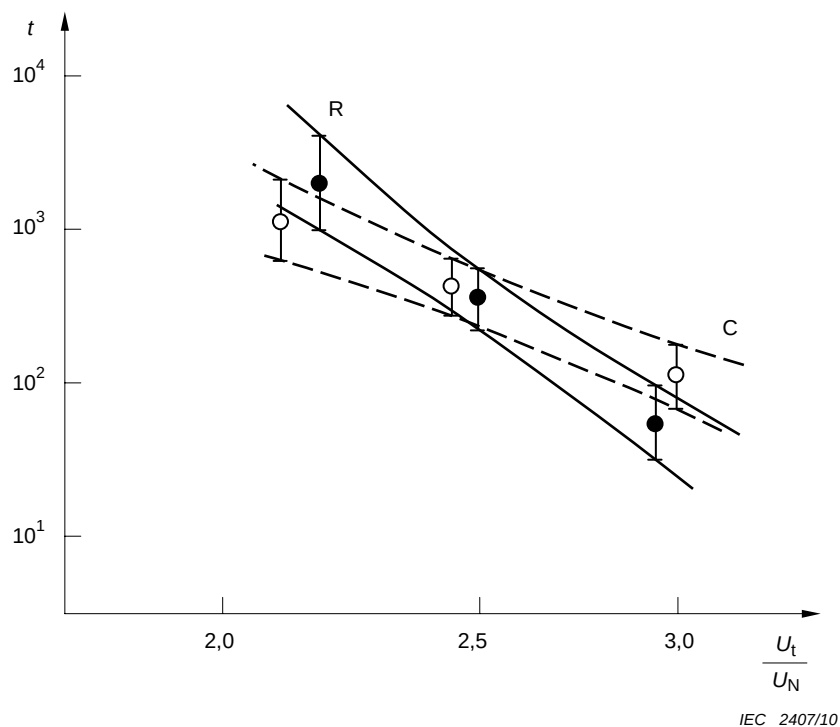
Les résultats de vieillissement d'un système candidat satisfaisant à la condition b) sont représentés sur la Figure 1. Un exemple de système candidat ne parvenant pas à être qualifié vis-à-vis de l'une ou l'autre des conditions a) ou b) est présenté sur la Figure 2.



Légende

- R données de vieillissement provenant du système d'isolation de référence (R), montrant les limites de confiance de 90 %
- C données de vieillissement provenant du système d'isolation candidat (C), montrant les limites de confiance de 90 %
- t temps en heures
- U_t/U_N rapport entre la tension d'essai et la tension assignée

Figure 1 – Comparaison des données de vieillissement des systèmes d'isolation candidat (C) et de référence (R) montrant la qualification



Légende

- R données de vieillissement provenant du système d'isolation de référence (R), montrant les limites de confiance de 90 %
- C données de vieillissement provenant du système d'isolation candidat (C), montrant les limites de confiance de 90 %

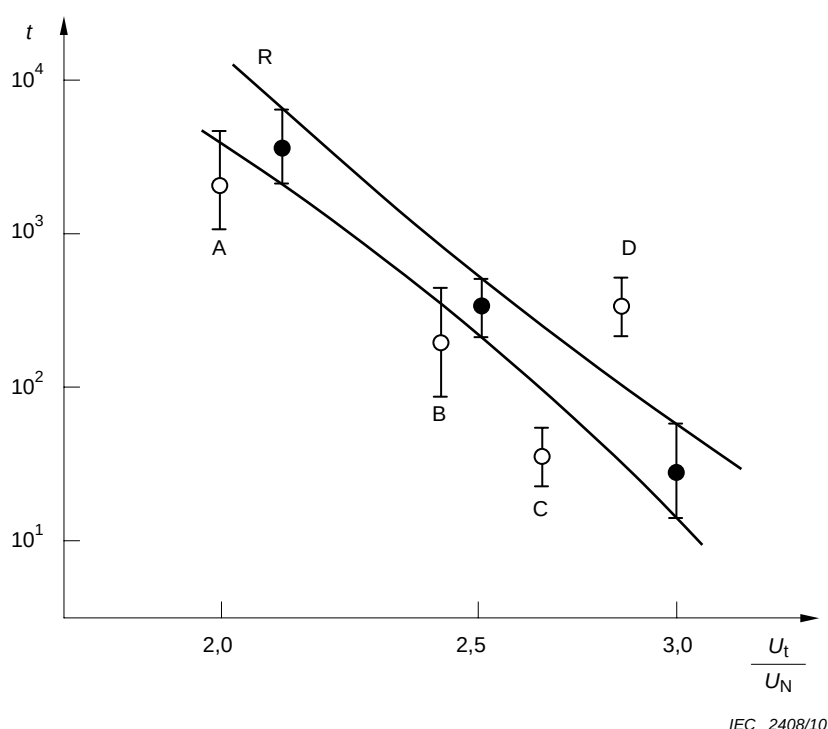
t temps en heures

U_t/U_N rapport entre la tension d'essai et la tension assignée

Figure 2 – Comparaison des données de vieillissement des systèmes d'isolation candidat et de référence montrant l'échec de la qualification

9.3 Evaluation réduite

Pour une évaluation réduite utilisant une tension unique (voir 4.5.2), la base de l'analyse doit être comme représenté sur la Figure 3, la tolérance de 90 % du quantile de 63 % des résultats de vieillissement pour le système candidat étant comparée aux limites de confiance de 90 % de la droite de vieillissement de référence pour le même quantile. Si un recouvrement partiel se produit dans la plage de tensions des essais de vieillissement sur le système de référence, comme représenté par le système candidat B, celui-ci est qualifié. La qualification n'est pas obtenue dans le cas du système candidat A, car la mesure est à l'extérieur de la plage de tensions utilisée pour produire la droite de vieillissement du système de référence. La qualification n'est pas non plus obtenue dans le cas du système candidat C, car aucun recouvrement ne se produit. Le système candidat D est qualifié car les résultats dépassent ceux du système de référence.



Légende

- R données de vieillissement provenant du système d'isolation de référence, montrant les limites de confiance de 90 %
- A résultats de vieillissement pour le système candidat A (non qualifié)
- B résultats de vieillissement pour le système candidat B (qualifié)
- C résultats de vieillissement pour le système candidat C (non qualifié)
- D résultats de vieillissement pour le système candidat D (qualifié)
- t temps en heures
- U_t/U_N rapport entre la tension d'essai et la tension assignée

Figure 3 – Comparaison des données d'essai d'évaluation réduites de quatre systèmes candidats séparés avec celles du système de référence

9.4 Données qu'il est recommandé d'enregistrer

Il est suggéré d'inclure les éléments suivants dans les enregistrements d'essais:

- température ambiante et humidité dans la zone d'essai, si les échantillons sont soumis aux essais à la température ambiante;
- tension appliquée, exprimée en valeur efficace équivalente;
- fréquence de la tension appliquée en Hertz;
- temps d'endurance total de chaque échantillon;
- résultats de tous les essais ou mesures de diagnostic préliminaires ou intermédiaires;
- observations des emplacements des défaillances;
- observations de la nature de la défaillance ou des dommages de répartition de contrainte;

- température d'essai d'endurance sous tension, c'est-à-dire température des thermocouples incorporés dans les plaques chauffantes;
- tension d'essai minimale et maximale et température d'essai durant l'essai.

Il est également souhaitable d'inclure d'autres informations, telles que la nature des échantillons, la nature des électrodes et la nature du matériau de répartition de contrainte.

Bibliographie

IEC 60034-18-33, *Rotating electrical machines – Part 18-33: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Multifactor evaluation by endurance under simultaneous thermal and electrical stresses* (disponible en anglais seulement)

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*

IEC 61251, *Electrical insulating materials – A.C. voltage endurance evaluation – Introduction* (disponible en anglais seulement)

IEC 62539, *Guide for the statistical analysis of electrical insulation breakdown data* (disponible en anglais seulement)

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