

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electrical insulating materials – Thermal endurance properties –
Part 8: Instructions for calculating thermal endurance characteristics using
simplified procedures**

**Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique –
Partie 8: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique
en utilisant des procédures simplifiées**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-8:2013



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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

**Electrical insulating materials – Thermal endurance properties –
Part 8: Instructions for calculating thermal endurance characteristics using
simplified procedures**

**Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique –
Partie 8: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique
en utilisant des procédures simplifiées**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

R

ICS 17.220.99; 29.035.01

ISBN 978-2-83220-679-9

**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 Terms, definitions, symbols and abbreviations.....	7
3.1 Terms and definitions	7
3.2 Symbols and abbreviations.....	8
4 Thermal endurance test procedure	9
4.1 General.....	9
4.2 Number of test specimens	9
4.3 Preparation of test specimens	10
4.4 Preparation of ageing processes	11
5 Simplified numerical and graphical evaluation procedures	12
5.1 Outline description of procedures	12
5.2 Simplified calculation procedures	13
5.2.1 Validity of simplified calculations	13
5.2.2 Times to end-point.....	13
5.2.3 Calculation of the regression line.....	14
5.2.4 Calculation of deviation from linearity.....	15
5.2.5 Temperature index and halving interval	15
5.3 Data rescue.....	16
5.4 Determination of RTI	16
5.5 Test report	18
Bibliography.....	19
Figure 1 – Determination of the time to reach the end-point at each temperature – Property variation (according to IEC 60216-1).....	14
Figure 2 – Thermal endurance graph – Temperature index – Halving interval	16
Figure 3 – Thermal endurance graph – Relative temperature index.....	17
Table 1 – Suggested exposure temperatures and times for TI corresponding to 20 000 h	12

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRICAL INSULATING MATERIALS –
THERMAL ENDURANCE PROPERTIES –****Part 8: Instructions for calculating thermal endurance
characteristics using simplified procedures**

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 60216-8 has been prepared by IEC technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems.

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

FDIS	Report on voting
112/236/FDIS	112/244/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.

A list of all parts in the IEC 60216 series, published under the general title *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties*, can be found 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 60216-8:2013

INTRODUCTION

The designation 'thermal endurance' is used here to refer to the test of thermal stress in air, excluding any other influence or stress applied to the test specimens. Thermal endurance properties evaluated in different environments and/or with different stresses applied to the test specimens require different test procedures.

In this part of IEC 60216, the study of the thermal ageing of materials is based solely on the change in certain properties resulting from a period of exposure to elevated temperature. The properties studied are always measured after the temperature has returned to ambient.

Properties of materials change at various rates on thermal ageing. To enable comparisons to be made of the thermal ageing of different materials, the criteria for judgment depend on the type of property to be studied and its acceptable limiting value.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-8:2013

ELECTRICAL INSULATING MATERIALS – THERMAL ENDURANCE PROPERTIES –

Part 8: Instructions for calculating thermal endurance characteristics using simplified procedures

1 Scope

This part of IEC 60216 specifies the general ageing conditions and simplified procedures to be used for deriving thermal endurance characteristics, which are shown by temperature index (TI) and/or relative temperature index (RTI) and the halving interval (HIC).

The procedures specify the principles for evaluating the thermal endurance properties of materials exposed to elevated temperature for long periods.

In the application of this standard, it is assumed that a practically linear relationship exists between the logarithm of the time required to cause the predetermined property change and the reciprocal of the corresponding absolute temperature (Arrhenius relationship).

For the valid application of the standard, no transition, in particular no first-order transition should occur in the temperature range under study.

Throughout the rest of this standard the designation "insulating materials" is always taken to mean "insulating materials and simple combinations of such materials".

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 60085, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60216-1:2013, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*¹

IEC 60216-2, *Electrical insulating materials - Thermal endurance properties - Part 2: Determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials - Choice of test criteria*

IEC 60216-3, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics*

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

¹ A sixth edition is due to be published shortly.

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

ISO 291, *Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing*

3 Terms, definitions, symbols and abbreviations

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

3.1 Terms and definitions

3.1.1

temperature index

TI

numerical value of the temperature in degrees Celsius derived from the thermal endurance relationship at a time of 20 000 h (or other specified time)

3.1.2

halving interval

HIC

numerical value of the temperature interval in Kelvin which expresses the halving of the time to end-point taken at the temperature equal to TI

[SOURCE: IEC 60050-212:2010 [1]², definition 212-12-13, modified – omission of reference to "relative temperature index"]

3.1.3

thermal endurance graph

graph in which the logarithm of the time to reach a specified end-point in a thermal endurance test is plotted against the reciprocal thermodynamic test temperature

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, definition 212-12-10]

3.1.4

thermal endurance graph paper

graph paper having a logarithmic time scale as the ordinate, graduated in powers of ten (from 10 h to 100 000 h is often a convenient range) and values of the abscissa are proportional to the reciprocal of the thermodynamic (absolute) temperature

Note 1 to entry: The abscissa is usually graduated in a non-linear (Celsius) temperature scale oriented with temperature increasing from left to right.

3.1.5

degrees of freedom

number of data values minus the number of parameter values

3.1.6

end-point

limit for a diagnostic property value based on which the thermal endurance is evaluated.

² Figures in square brackets refer to the Bibliography.

3.1.7

time to end-point

failure time

time to reach the end point or conventional failure

3.1.8

square of the correlation coefficient

r^2

fraction of the variation in one variable that may be explained by the other variable

Note 1 to entry: r^2 is a square of correlation coefficient which explains the ratio of all data deviation on the regression line.

3.1.9

destructive test

diagnostic property test, where the test specimen is irreversibly changed by the property measurement, in a way which precludes a repeated measurement on the same specimen

3.1.10

non-destructive test

diagnostic property test, where the properties of the test specimen are not permanently changed by the measurement, so that a further measurement on the same specimen may be made after appropriate treatment

3.1.11

proof test

diagnostic property test, where each test specimen is, at the end of each ageing cycle, subjected to a specified stress, further ageing cycles being conducted until the specimen fails on testing

3.1.12

temperature group

temperature group of specimens

number of specimens being exposed together to the same temperature ageing in the same oven

Note 1 to entry: Where there is no risk of ambiguity, either temperature groups or test groups may be referred to simply as groups.

3.1.13

test group

test group of specimens

number of specimens removed together from a temperature group (as above) for destructive testing

3.1.14

relative temperature index

RTI

numerical value of the temperature in degrees Celsius at which the estimated time to endpoint of the candidate material is the same as the estimated time to endpoint of the reference material at a temperature equal to its assessed temperature index

3.2 Symbols and abbreviations

a, b Regression coefficients

$n_{a,b,c,d}$ Numbers of specimens for destructive tests

n Number of y-values

N	Total number of test specimens
r	Correlation coefficient
F	Fisher distributed stochastic variable
x	Reciprocal thermodynamic temperature ($1/\Theta$)
y	Logarithm of time to end-point
ϑ	Temperature, °C
Θ	Temperature, thermodynamic (Kelvin)
Θ_0	Value in Kelvin of 0 °C (273,15 K)
τ	Time (to end-point)
TI	Temperature index
HIC	Halving interval at temperature equal to TI
RTI	Relative temperature index

4 Thermal endurance test procedure

4.1 General

Simplified procedures, which do not test the data dispersion but only deviations from linear behaviour, are described.

It is possible, with some limitations, to evaluate the thermal endurance data graphically. In this case, statistical assessment of data dispersion is not possible, but it is considered important to evaluate any deviation of the data from the linear relationship.

Since the temperature is very often the dominant ageing factor affecting an electrical insulating material (EIM) certain basic thermal classes are useful and have been recognized as such internationally (see IEC 60085).

4.2 Number of test specimens

The accuracy of endurance test results depends largely on the number of specimens aged at each temperature. Generally, the following instructions, which influence the testing procedure, apply.

- a) For a criterion requiring non-destructive testing, in most cases a group of five test specimens for each exposure temperature is adequate.

Where the test criterion for non-destructive or proof tests is based upon the initial value of the property, this should be determined from a group of specimens of at least twice the number of specimens in each temperature group

- b) For proof-test criteria, a group of at least 11 and possibly 21 specimens will be required for each exposure temperature.

The dimensions and method of preparation of the test specimens shall be in accordance with the specifications given for the relevant test method.

- c) For a criterion requiring a destructive test, the minimum total number (N) of test specimens needed is derived as follows:

$$N = n_a \times n_b \times n_c + n_d \quad (1)$$

where

- n_a is the number of specimens in a test group undergoing identical treatment at one temperature and one treatment time and discarded after determination of the property (usually five);
- n_b is the number of treatments, i.e. exposure lengths, at one temperature;
- n_c is the number of exposure temperature levels;
- n_d is the number of specimens in the group used to establish the initial value of the property. Normal practice is to select $n_d = 2n_a$ when the diagnostic criterion is a percentage change of the property from its initial level. When the criterion is an absolute property level, n_d is usually given the value of zero, unless reporting of the initial value is required.

NOTE When there is a large number of specimens to be tested, it may be possible in certain cases to deviate from the relevant test specifications and to reduce this number. However, it should be recognized that the precision of the test result depends to a large extent on the number of specimens tested. In contrast, when the individual results are too scattered, an increase in the number of specimens may be necessary in order to obtain satisfactory precision. It is advisable to make an approximate assessment, by means of preliminary tests, of the number and duration of the ageing tests required.

4.3 Preparation of test specimens

The specimens used for the ageing test should constitute a random sample from the population investigated and are to be treated uniformly.

The material specifications or the test standards will contain all necessary instructions for the preparation of specimens.

The thickness of specimens is in some cases specified in the list of property measurements for the determination of thermal endurance (see IEC 60216-2); otherwise the thickness shall be reported. Some physical properties are sensitive even to minor variations of specimen thickness. In such cases, the thickness after each ageing period may need to be determined and reported if required in the relevant specification.

The thickness is also important because the rate of ageing may vary with thickness. Ageing data of materials with different thicknesses are not always comparable. Consequently, a material may be assigned more than one thermal endurance characteristic derived from the measurement of properties at different thicknesses.

The tolerances of specimen dimensions should be the same as those normally used for general testing; where specimen dimensions need smaller tolerances than those normally used, these special tolerances should be given. Screening measurements ensure that specimens are of uniform quality and typical of the material to be tested.

Since processing conditions may significantly affect the ageing characteristics of some materials, it shall be ensured that, for example, sampling, cutting sheet from the supply roll, cutting of anisotropic material in a given direction, moulding, curing, pre-conditioning, are performed in the same manner for all specimens.

It is good practice to keep an adequate number of test specimens separately as a reserve of the original material batch from which such specimens may subsequently be prepared. In this way, any required ageing of additional specimens in case of unforeseen complications will introduce a minimum risk of producing systematic differences between groups of specimens. Such complications may arise, for example, if the thermal endurance relationship turns out to be non-linear, or if specimens are lost due to thermal runaway of an oven. Moreover they can be used:

- for cases in which the accuracy requires heat ageing at an additional temperature;
- as reference specimens.

They shall be stored in an appropriately controlled atmosphere (see ISO 291).

Thermosetting materials shall be conditioned for 48 h at the lowest exposure temperature of the range selected.

If necessary, thermoplastic materials should be annealed for 48 h at the lowest exposure temperature of the range selected.

4.4 Preparation of ageing processes – exposure temperature and cycle time

For TI determinations, test specimens should be exposed to not less than three, preferably at least four, temperatures covering a sufficient range to demonstrate a linear relationship between logarithms of time to end-point and reciprocal thermodynamic (absolute) temperature.

To reduce the uncertainties in calculating the appropriate thermal endurance characteristic, the overall temperature range of thermal exposure needs to be carefully selected, observing the following requirements:

- a) the lowest exposure temperature shall be one which will result in a mean or median time to end-point more than 1/4 of the extrapolation time (which is generally 20 000 h) when determining TI;

NOTE 1 The mean time corresponding to TI is generally 20 000 h, thus the lowest exposure temperature corresponds to a mean time $> = 5\,000$ h.

- b) the extrapolation necessary to establish TI shall not be more than 25 K;

- c) the highest exposure temperature shall be one which will result in a mean or median time to end-point of more than 100 h.

NOTE 2 For some materials, it may not be possible to achieve a time to end-point of less than 500 h while retaining satisfactory linearity. However, it is important that a smaller range of mean times to end-point will lead to a larger confidence interval of the result for the same data dispersion.

Table 1 gives guidance in making initial selections.

A number of recommendations and suggestions useful in establishing times and temperatures can be found in IEC 60216-1:2013, Annex B.

Before the heat-ageing procedure is started, an initial test shall be made at room temperature with the required number of specimens conditioned and tested in accordance with the chosen test method.

Selection of adequate exposure temperatures requires previously determined information on the material under test. If such information is not available, exploratory tests may help in selecting exposure temperatures which are suitable for evaluating the thermal endurance characteristics.

For heat ageing, ovens shall be used that meet the requirements specified in IEC 60216-4-1, in particular with respect to the temperature tolerances and ventilation rates of air exchange.

Place the required number of specimens in each of the ovens maintained at the selected temperatures.

If there is a risk of cross-contamination between test specimens originating from different materials, use separate ovens for each material.

At the end of each heat-ageing period, the required number of test specimens is removed from the oven and conditioned, if necessary, under the appropriately controlled atmosphere (see ISO 291). The test, in accordance with the selected test criterion, shall be carried out at room temperature.

Continue this procedure until the numerical value of the characteristic under investigation reaches the relevant threshold value.

Table 1 – Suggested exposure temperatures and times for TI corresponding to 20 000 h

Estimated value of TI in range °C	Exposure temperature °C																																	
	Boxes: duration of exposure cycle in days																																	
	120	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	36										
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
95-104	28		14		7		3		1																									
105-114		28		14		7		3		1																								
115-124			28		14		7		3		1																							
125-134				28		14		7		3		1																						
135-144					28		14		7		3		1																					
145-154						28		14		7		3		1																				
155-164							28		14		7		3		1																			
165-174									28		14		7		3		1																	
175-184										28		14		7		3		1																
185-194											28		14		7		3		1															
195-204												28		14		7		3		1														
205-214													28		14		7		3		1													
215-224															28		14		7		3		1											
225-234															28		14		7		3		1											
235-244																			28		14		7		3		1							
245-254																					28		14		7		3		1					

NOTE 1 This table is intended primarily for cyclic proof testing and non-destructive tests, but may also be used as a guide for selection of suitable time intervals for destructive tests. In this case, cycle times of 56 days, or even more, may be required.

NOTE 2 When extending the test program by submitting additional specimens to ageing at temperatures below the lower of the originally planned ageing temperatures, a temperature interval of 10 K and cycle duration of 42 days for TI determination should be considered.

5 Simplified numerical and graphical evaluation procedures

5.1 Outline description of procedures

At a chosen temperature, the variations in the numerical value of a chosen characteristic (for example, a mechanical, optical or diagnostic property: see IEC 60216-2) are determined as a function of time.

The procedure is continued until the specified end-point value of that characteristic has been reached, resulting in the time to end-point at that particular temperature.

Further specimens are exposed at a minimum of two other temperatures and the variations in the relevant characteristic determined. It is recommended that test specimens be heated-aged at three or four temperatures, and the time to end-point for each of the temperatures determined.

When the data at all temperatures are complete, a thermal endurance graph is drawn, and a relatively simple statistical calculation made, to assess whether the linearity of the graph enables the calculation of thermal endurance characteristics.

The test chosen shall relate to a characteristic which is likely to be of significance in practice and, wherever possible, use shall be made of test methods specified in international standards (see, for example, IEC 60216-2). If the dimensions and/or form of the test specimens are altered by the heat treatment, then only test methods which are independent of these effects may be used.

For the selection of the end-point, an acceptable change in value of the chosen characteristic shall be considered. This value depends on the conditions of use foreseen.

NOTE Other times (shorter or longer than 20 000 h) may be chosen if necessary.

5.2 Simplified calculation procedures

5.2.1 Validity of simplified calculations

The calculation procedure is only valid when the numbers of data contributing to the mean time to end-point for all temperature groups are approximately equal. In addition, the procedure does not test the scatter of the test data for acceptability. For these reasons, the result cannot be given the status of full statistical acceptance and the procedure should only be used when there is already satisfactory experience of the behavior of the material in thermal endurance testing.

In all cases of doubt, the full analysis described in IEC 60216-3 should be carried out, especially if there is doubt about the acceptability of scatter of test data can be questioned.

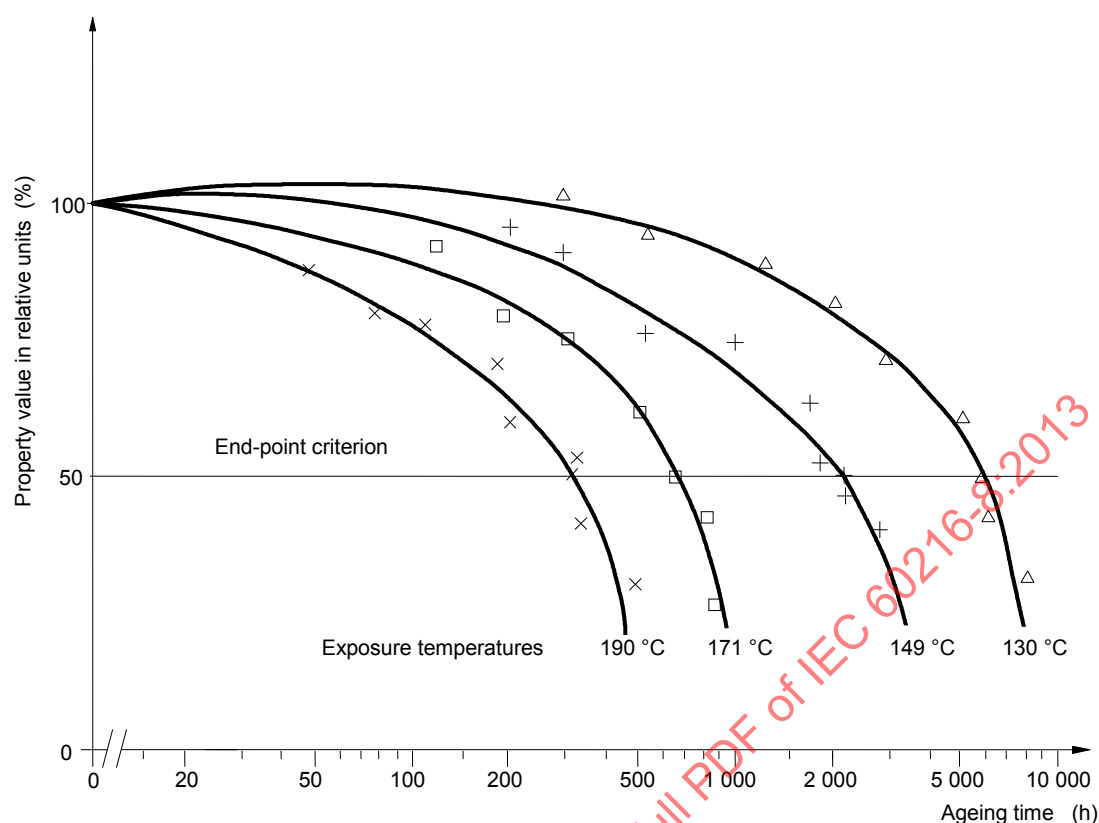
5.2.2 Times to end-point

For destructive tests for each exposure temperature and for the group removed from the oven after each heat-ageing period, the per cent of the mean value of the chosen property relative to the initial property value is plotted as a function of the logarithm of the time of ageing (see Figure 1). The point at which this graph intersects the horizontal line representing the end-point criterion is taken as the time to end-point of the temperature group.

For non-destructive tests, the per cent of the value of property measured on each specimen after each ageing period relative to initial property value is plotted as a function of the logarithm of the time and the point at which this graph intersects the horizontal line representing the end-point criterion is taken as the time to end-point of the specimen. The time to end-point of the temperature group is the mean of the specimen times.

When applying a proof test, each ageing time shall be calculated as the mean of the times at the beginning and end of the ageing period. The ageing time of the temperature group shall be taken as the time of the ageing period in which the median failure on proof test takes place.

The logarithms of the mean times to end point are plotted versus the reciprocal values of the exposure temperatures. The intersection of this curve with the chosen time limit (in general 20 000 h) gives the temperature index sought.



IEC 546/13

Figure 1 – Determination of the time to reach the end-point at each temperature – Property variation (according to IEC 60216-1)

NOTE When the temperature scale is chosen in such a way that equal intervals correspond to equal intervals of reciprocal Kelvin, then the various points obtained will be found to lie on a straight line if a linear dependence exists. When the temperature range used is comparatively small, a curve can be prepared using an abscissa scale proportional to the temperature; in this case the curve can be fit to a straight line only with great circumspection.

5.2.3 Calculation of the regression line

The ageing function assumed for the purposes of this standard is the equation relating the absolute (Kelvin) temperature θ to the mean time needed for a fixed change in the value of property, τ :

$$\tau = Ae^{B/\theta} \quad (2)$$

where

A and B are constants dependent on material and diagnostic test.

This may be expressed as a linear equation:

$$y = a + bx \quad (3)$$

where

$$y = \ln \tau$$

$$x = 1/\theta$$

$$a = \ln A$$

$b = B$.

Given a group of paired x, y values, the values of a and b giving the best fit linear relationship are determined from the x, y values:

$$b = \frac{(\sum xy - \sum x \sum y / k)}{[\sum x^2 - (\sum x)^2 / k]} \quad (4)$$

$$a = \frac{(\sum y - b \sum x)}{k} \quad (5)$$

where k is the number of x, y values.

NOTE 1 Since most "scientific" calculators with "statistics" functions have regression analysis facilities, the calculations implied by Equations (2) to (4) above are executed by the calculator. It is important in this case that x is entered as the independent variable and y as the dependent.

NOTE 2 It is usually possible with such calculators to enter the time and temperature values and convert them to x and y before the summation is executed.

NOTE 3 Logarithms to another base (for example, 10) may be used but will affect the value to be used.

5.2.4 Calculation of deviation from linearity

Calculate the coefficient of determination (square of correlation coefficient). Again, this can be done in the regression facility of the calculator.

$$r^2 = \frac{(\sum xy - \sum x \sum y / k)^2}{[\sum x^2 - (\sum x)^2 / k][\sum y^2 - (\sum y)^2 / k]} \quad (6)$$

If the value of $r > 0,985$ then the values of TI and HIC may be determined. If this condition is not satisfied, then the deviations from the fundamental assumption are too great to allow the calculation.

NOTE This is not a Fisher linearity test, but an expression of the mean deviation of data from the regression line, as a fraction of the range of data values

5.2.5 Temperature index and halving interval

$$\vartheta = \frac{b}{(\ln \tau - a)} - \theta_0 \quad (7)$$

Using Equation (7), calculate the temperatures corresponding to values of τ (time in hours) of 20 000, 10 000 and 2 000, designated $\vartheta_{20\,000}$, $\vartheta_{10\,000}$, and $\vartheta_{2\,000}$ respectively.

Using the data pairs ($\vartheta_{20\,000}$, 20 000) and ($\vartheta_{2\,000}$, 2 000) draw the regression line on thermal endurance graph paper to obtain the thermal endurance graph.

Calculate the values of TI and HIC:

$$TI = \vartheta_{20\,000}, \text{ HIC} = \vartheta_{10\,000} - \vartheta_{20\,000}$$

An example is given in Figure 2.

NOTE 1 If a value τ , different from 20 000 is used for the calculation of TI, replace 10 000 and 2 000 in the above by $\tau/2$ and $\tau/10$.

NOTE 2 The value of r^2 is related to the Fisher test described in IEC 60216-1 and IEC 60216-3.

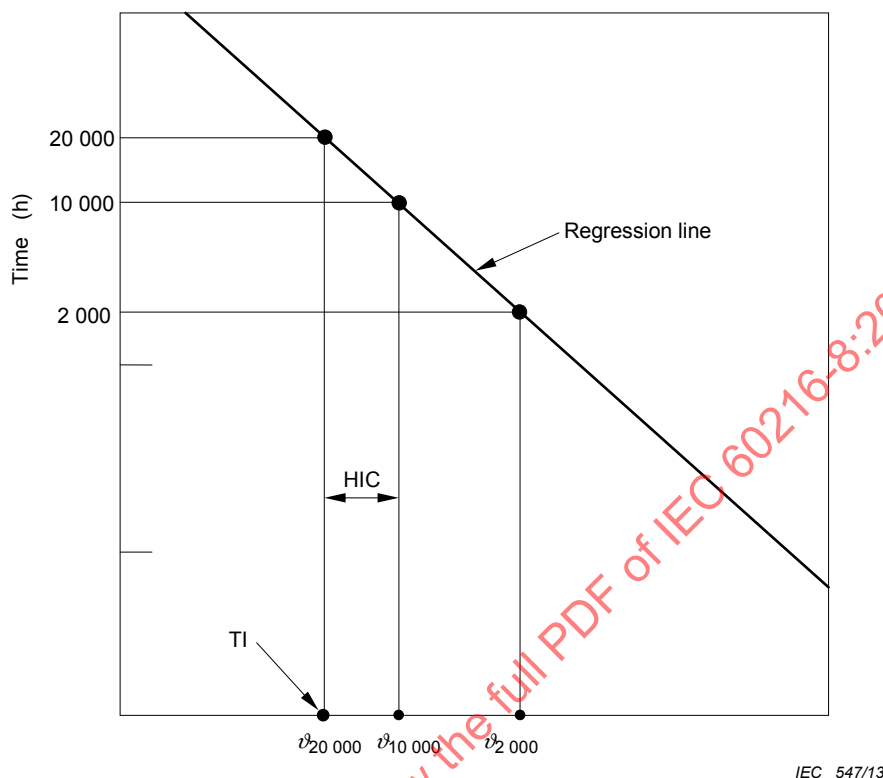


Figure 2 – Thermal endurance graph – Temperature index – Halving interval

5.3 Data rescue

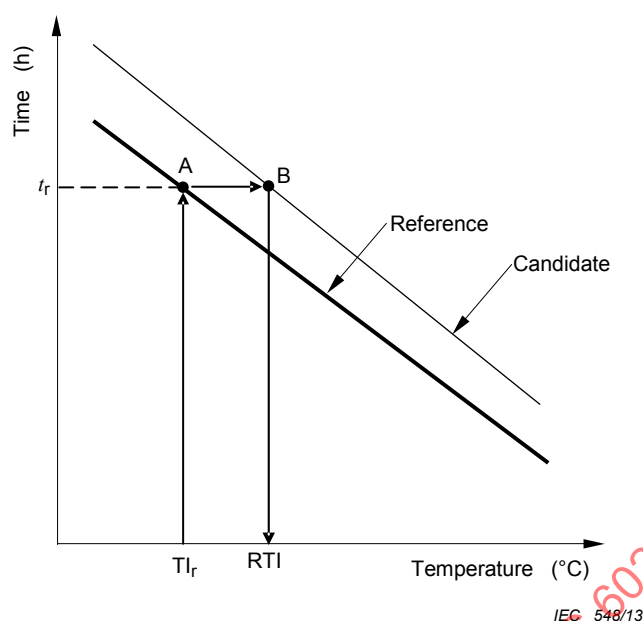
The reliability of the extrapolation of the graph depends on obtaining an acceptable Arrhenius plot, which may not be possible with materials showing behaviour related to a transition phenomenon in the chosen temperature range.

For this purpose the correlation coefficient r is calculated in accordance with 5.2.4. If this calculation results in a value smaller than 0,985 (for three test temperatures) an additional test at a different test temperature may improve the linearity of data.

5.4 Determination of RTI

For determination of RTI, the chosen reference material, its thermal endurance and the method of determination are of central importance.

The reference material shall be of the same type as the tested material, and have a history of satisfactory service. It shall have a known temperature index for the property and a end point value which are the same, or at least reasonably similar to, those to be employed in the RTI test. The TI and HIC of the reference material should also be approximately the same as the values expected for the tested material.

**Key**

- TI_r original TI of the reference material
- t_r time to the end point of the reference material
- A the cross point of the thermal index of the reference material ($= TI_r$) and the regression line of the reference material
- B the cross point of the end point time of reference material and the regression line of the candidate material ($= RTI$)

Figure 3 – Thermal endurance graph – Relative temperature index

Define ϑ_A and ϑ_B (from Equation (7)).

Points A and B may be determined either graphically or numerically, and the RTI then determined using Equation (8):

$$RTI = TI_r + \vartheta_A - \vartheta_B \quad (8)$$

When reporting the RTI, the usual information regarding the property, end-point and test specimen data should be supplemented with corresponding information regarding the reference material.

When required, the test material may be assigned to an insulation thermal class according IEC 60085 (see IEC 60216-5).

The relative temperature index (RTI) is a thermal endurance characteristic which is derived from the two thermal endurance relationships or curves resulting from the comparative testing of the test material and the reference material. The RTI is specifically related to the time corresponding to the TI originally determined for the reference material.

5.5 Test report

Make the test report, reporting in the format

$$TI_s = xxx, HIC_s = yyy, RTI_s = zzz$$

The test report shall include:

- all information necessary for complete identification of the material tested, description of the tested material including dimensions and any conditioning of the specimens;
- the property investigated, the chosen end-point, and, if this is a percentage value, the initial value of the property;
- the test method used for determination of the property (for example, by reference to a relevant IEC publication);
- any relevant information on the test procedure, for example, ageing environment; details of the ageing conditions, if these are other than the exposure of unstressed specimens to hot air;
- shape, dimensions and method of preparation of the test specimens, with reference to the relevant standard;
- conditioning;
- type of oven, with details of rate of air change and direction and velocity of airflow;
- times and temperatures of exposure in ovens;
- the individual test temperatures, with the appropriate data:
 - for non-destructive tests, the individual times to end-point, with the graphs of variation of property with ageing time;
 - for proof tests, the numbers and durations of the ageing cycles, with the numbers of specimens reaching end-point during the cycles;
 - for destructive tests, the ageing times and individual property values, with the graphs of variation of property with ageing time;
- the thermal endurance graph;
- reference to this standard.

Bibliography

IEC 60050-212, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 212: Insulating solids, liquids and gases*

IEC 60216-6, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 6: Determination of thermal endurance indices (TI and RTE) of an insulating material using the fixed time frame method.*

IEC 60212, *Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials*

IEC 60493-1, *Guide for the statistical analysis of ageing test data – Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results*

ISO 2578:1993, *Plastics – Determination of time-temperature limits after prolonged exposure to heat*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-8:2013

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
INTRODUCTION.....	23
1 Domaine d'application	24
2 Références normatives	24
3 Termes, définitions, symboles et abréviations.....	25
3.1 Termes et définitions	25
3.2 Symboles et abréviations	27
4 Procédure d'essai d'endurance thermique	27
4.1 Généralités.....	27
4.2 Nombre d'éprouvettes	27
4.3 Préparation des éprouvettes.....	28
4.4 Préparation des procédés de vieillissement.....	29
5 Procédures d'évaluation numérique et graphique simplifiées	31
5.1 Description des procédures	31
5.2 Procédures de calcul simplifiées	32
5.2.1 Validité des calculs simplifiés	32
5.2.2 Durées jusqu'en fin de vie	32
5.2.3 Calcul de la droite de régression	33
5.2.4 Calcul de la déviation par rapport à la linéarité	34
5.2.5 Indice de température et intervalle de division par deux.....	34
5.3 Récupération des données	35
5.4 Détermination du RTI	35
5.5 Rapport d'essai	36
Bibliographie.....	38
Figure 1 – Détermination du temps nécessaire pour atteindre la fin de vie à chaque température – Variation des propriétés (conformément à la CEI 60216-1).....	33
Figure 2 – Graphique d'endurance thermique – Indice de température – Intervalle de division par deux.....	35
Figure 3 – Graphique d'endurance thermique – Indice de température relatif	36
Tableau 1 – Températures et durées d'exposition suggérées pour IT correspondant à 20 000 h	31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES –
PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE –****Partie 8: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance
thermique en utilisant des procédures simplifiées**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60216-8 a été établie par le comité d'études 112 de la CEI: Evaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
112/236/FDIS	112/244/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.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60216, regroupées sous le titre général *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-8:2013

INTRODUCTION

La désignation "endurance thermique" est utilisée ici pour faire référence à l'essai de contrainte thermique dans l'air, à l'exclusion de toute autre influence ou contrainte appliquée aux éprouvettes d'essai. Les propriétés d'endurance thermique évaluées dans différents environnements et/ou avec application de différentes contraintes sur les éprouvettes nécessitent des procédures d'essai différentes.

Dans la présente partie de la CEI 60216, l'étude du vieillissement thermique des matériaux repose exclusivement sur le changement de certaines propriétés résultant d'une période d'exposition à une température élevée. Les propriétés étudiées sont toujours mesurées une fois que la température est revenue à la température ambiante.

Les propriétés des matériaux changent à différentes vitesses lors d'un vieillissement thermique. Pour permettre d'effectuer des comparaisons concernant le vieillissement thermique de différents matériaux, les critères de jugement dépendent du type de propriété à étudier et de sa valeur limite acceptable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-8:2013

MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE –

Partie 8: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique en utilisant des procédures simplifiées

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60216 spécifie les conditions de vieillissement générales et les procédures simplifiées à utiliser pour déduire les caractéristiques d'endurance thermique, qui sont représentées par l'indice de température (IT) et/ou l'indice de température relatif (RTI)¹ et l'intervalle de division par deux (IDC).

Les procédures spécifient les principes régissant l'évaluation des propriétés d'endurance thermique des matériaux exposés à une température élevée pendant de longues périodes.

Dans le cadre de l'application de la présente norme, on considère qu'il existe une relation pratiquement linéaire entre le logarithme du temps nécessaire pour provoquer le changement de propriété prédéterminé et l'inverse de la température absolue correspondante (relation d'Arrhenius).

Pour que l'application de la présente norme soit valide, il convient qu'aucune transition, en particulier aucune transition du premier ordre, ne se produise dans la plage de températures à l'étude.

Dans le reste de la présente norme, la désignation "matériaux isolants" signifie systématiquement "matériaux isolants et combinaisons simples de ces matériaux".

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 60085, *Isolation électrique – Evaluation et désignation thermiques*

CEI 60216-1:2013, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 1: Méthodes de vieillissement et évaluation des résultats d'essai*²

CEI 60216-2, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 2: Détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques – Choix de critères d'essai*

CEI 60216-3, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique*

¹ En anglais, RTI = relative temperature index.

² Une sixième édition sera publiée prochainement.

CEI 60216-4-1, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 4-1: Etuves de vieillissement – Etuves à une chambre*

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

ISO 291, *Plastiques – Atmosphères normales de conditionnement et d'essai*

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

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

3.1 Termes et définitions

3.1.1

indice de température

IT

valeur numérique de la température, en degrés Celsius, obtenue à partir de la relation d'endurance thermique pour une durée de 20 000 h (ou pour une autre durée spécifiée)

3.1.2

intervalle de division par deux

IDC

valeur numérique de l'intervalle de température, en Kelvins, qui exprime la division par deux du temps jusqu'au point limite, pris à une température égale à IT

[SOURCE: CEI 60050-212:2010 [1]³, définition 212-12-13, modifiée – suppression de la référence à "l'indice relatif de température"]

3.1.3

graphique d'endurance thermique

graphique sur lequel le logarithme du temps pour atteindre un point limite spécifié, lors d'un essai d'endurance thermique, est porté en fonction de l'inverse de la température thermodynamique d'essai

[SOURCE: CEI 60050-212:2010, définition 212-12-10]

3.1.4

papier graphique d'endurance thermique

papier graphique ayant une échelle de temps logarithmique en ordonnée, gradué en puissances de dix (la plage de 10 h à 100 000 h étant souvent une plage adéquate), les valeurs en abscisse étant proportionnelles à l'inverse de la température thermodynamique (absolue)

Note 1 à l'article: L'abscisse est généralement graduée en échelle de température (Celsius) non linéaire, la température augmentant de la gauche vers la droite.

3.1.5

degrés de liberté

nombre de valeurs de données moins le nombre de valeurs de paramètres

³ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

3.1.6

point limite

limite pour une valeur de propriété de diagnostic, d'après laquelle l'endurance thermique est évaluée

3.1.7

durée jusqu'en fin de vie

temps de défaillance

temps pour atteindre la fin de vie ou une défaillance conventionnelle

3.1.8

carré du coefficient de corrélation

r^2

fraction de la variation subie par une variable, qui peut être expliquée par l'autre variable

Note 1 à l'article: r^2 est le carré du coefficient de corrélation qui explique le rapport de toutes les déviations de données sur la droite de régression

3.1.9

essai destructif

essai de propriété diagnostic dans lequel l'éprouvette est irrémédiablement altérée par la mesure de propriété, excluant ainsi toute possibilité de répéter la mesure sur le même échantillon

3.1.10

essai non destructif

essai de propriété diagnostic dans lequel les propriétés de l'éprouvette ne sont pas irrémédiablement altérées par la mesure, de sorte qu'une autre mesure peut être effectuée sur le même échantillon après un traitement approprié

3.1.11

essai de sûreté

essai de propriété diagnostic dans lequel chaque éprouvette est soumise, à la fin de chaque cycle de vieillissement, à une contrainte spécifiée, d'autres cycles de vieillissement étant ensuite effectués jusqu'à ce que l'échantillon connaisse une défaillance

3.1.12

groupe de températures

groupe de températures des éprouvettes

nombre d'éprouvettes étant exposées ensemble au vieillissement à la même température dans la même étuve

Note 1 à l'article: Quand il n'y a aucun risque d'ambiguïté, les groupes des températures ou les groupes d'essai peuvent être simplement appelés "groupes".

3.1.13

groupe d'essai

groupe d'essai des éprouvettes

nombre d'éprouvettes retirées ensemble d'un groupe de températures (comme ci-dessus) pour être soumises à l'essai destructif

3.1.14

indice de température relatif

RTI

valeur numérique de la température, exprimée en degrés Celsius, pour laquelle la durée estimée jusqu'en fin de vie du matériau candidat est la même que la durée estimée jusqu'en fin de vie du matériau de référence à une température égale à son indice de température évalué

3.2 Symboles et abréviations

a, b	Coefficients de régression
$n_{a,b,c,d}$	Nombre d'éprouvettes pour essais destructifs
n	Nombre de valeurs y
N	Nombre total d'éprouvettes
r	Coefficient de corrélation
F	Variable stochastique à distribution de Fisher
x	Température thermodynamique inverse ($1/\theta$)
y	Logarithme de la durée jusqu'en fin de vie
ϑ	Température, °C
θ	Température, thermodynamique (kelvins)
θ_0	Valeur en kelvins de 0 °C (273,15 K)
τ	Durée (jusqu'en fin de vie)
IT	Indice de température
IDC	Intervalle de division par deux à une température égale à IT
RTI	Indice de température relatif

4 Procédure d'essai d'endurance thermique

4.1 Généralités

Des procédures simplifiées sont décrites, qui ne consistent pas à soumettre à essai la dispersion des données, mais uniquement les déviations par rapport à un comportement linéaire.

Il est possible, avec certaines limitations, d'évaluer les données d'endurance thermique graphiquement. Dans ce cas, il n'est pas possible d'effectuer une évaluation statistique de la dispersion des données, mais on considère tout de même qu'il est important d'évaluer toute déviation des données par rapport à une relation linéaire.

Du fait que la température est généralement le facteur dominant dans le vieillissement qui affecte un matériau isolant électrique (MIE), certaines classes thermiques élémentaires sont utiles, et sont reconnues comme telles à l'échelon international (voir CEI 60085).

4.2 Nombre d'éprouvettes

La précision des résultats d'essai d'endurance dépend en grande partie du nombre d'éprouvettes que l'on fait vieillir à chaque température. En général, les instructions suivantes, qui influencent la procédure d'essai, s'appliquent.

- a) Pour un critère nécessitant un essai non destructif, il suffit dans la plupart des cas d'utiliser un groupe de cinq éprouvettes pour chaque température d'exposition.

Si le critère d'essai concernant les essais non destructifs ou les essais de sûreté repose sur la valeur initiale de la propriété, il convient de déterminer celle-ci au moyen d'un groupe d'éprouvettes composé d'au moins deux fois le nombre d'éprouvettes de chaque groupe de température

- b) Pour les critères des essais de sûreté, un groupe d'au moins 11 éprouvettes, voire 21 éprouvettes, est exigé pour chaque température d'exposition.

Les dimensions et la méthode de préparation des éprouvettes doivent être conformes aux spécifications données pour la méthode d'essai concernée.

- c) Pour un critère nécessitant un essai destructif, le nombre total minimum (N) d'éprouvettes nécessaires est déduit de la relation suivante:

$$N = n_a \times n_b \times n_c + n_d \quad (1)$$

où

- n_a est le nombre d'éprouvettes d'un groupe d'essai, soumises à un traitement identique à une température et à une durée de traitement, puis éliminées après la détermination de la propriété (généralement cinq);
- n_b est le nombre de traitements, c'est-à-dire le nombre de durées d'exposition, pour une température;
- n_c est le nombre de niveaux de température d'exposition;
- n_d est le nombre d'éprouvettes du groupe utilisé pour établir la valeur initiale de la propriété. Il est d'usage de choisir $n_d = 2 n_a$ quand le critère de diagnostic est la variation de pourcentage de la propriété par rapport à son niveau initial. Quand le critère est un niveau de propriété absolu, on donne habituellement à n_d la valeur zéro, à moins qu'il ne soit demandé de noter la valeur initiale.

NOTE 1 Si le nombre d'éprouvettes à soumettre à essai est important, il peut être possible, dans certains cas, de s'écarter des spécifications d'essai correspondantes et de réduire ce nombre. Il convient cependant de reconnaître que la précision de l'essai dépend en grande partie du nombre d'éprouvettes soumises à essai. Si, au contraire, les résultats individuels sont trop dispersés, il peut être nécessaire d'augmenter le nombre d'éprouvettes afin d'obtenir une précision satisfaisante. Il est recommandé d'effectuer une évaluation approximative, au moyen d'essais préliminaires, du nombre d'essais de vieillissement nécessaires et de leurs durées.

4.3 Préparation des éprouvettes

Il convient que les éprouvettes utilisées pour les essais de vieillissement constituent un échantillon aléatoire à partir de la population étudiée et elles doivent être traitées de manière uniforme.

Les spécifications du matériau ou les normes d'essai contiennent toutes les instructions nécessaires à la préparation des éprouvettes.

L'épaisseur des éprouvettes fait partie, dans certains cas, de la liste des mesures de propriétés pour la détermination de l'endurance thermique (voir CEI 60216-2); autrement, l'épaisseur doit être notée. Certaines propriétés physiques sont même sensibles à des variations mineures de l'épaisseur de l'éprouvette. Dans de tels cas, l'épaisseur après chaque période de vieillissement peut devoir être déterminée et notée si la spécification concernée l'exige.

L'épaisseur est également importante parce qu'elle peut faire varier le taux de vieillissement. Les données de vieillissement des matériaux de différentes épaisseurs ne sont pas toujours comparables. En conséquence, un matériau peut être affecté de plus d'une caractéristique d'endurance thermique, déduite de la mesure des propriétés à différentes épaisseurs.

Il convient que les tolérances sur les dimensions de l'éprouvette soient les mêmes que celles normalement utilisées pour les essais généraux; si des dimensions d'éprouvettes nécessitent des tolérances plus faibles que celles normalement utilisées, il convient que ces tolérances particulières soient données. Les mesures de sélection assurent que les éprouvettes sont de qualité uniforme et typiques du matériau à soumettre à essai.

Comme les conditions de mise en forme peuvent affecter de manière significative les caractéristiques de vieillissement de certains matériaux, on doit s'assurer que, par exemple, l'échantillonnage, la découpe de papier du rouleau, la découpe de matériau anisotrope dans un sens donné, le moulage, la polymérisation et le préconditionnement soient effectués de la même manière pour toutes les éprouvettes.

Il est de bon usage de conserver séparément un nombre suffisant d'éprouvettes constituant une réserve du lot de matériau original, à partir duquel de telles éprouvettes peuvent être préparées par la suite. De cette façon, en cas de complications imprévues, toute demande de vieillissement d'éprouvettes supplémentaires introduit un risque minimal de production de différences systématiques entre les groupes d'éprouvettes. De telles complications peuvent

survenir, par exemple, si la relation d'endurance thermique devient non linéaire ou si les éprouvettes sont perdues à cause de l'emballement thermique d'une étuve. En outre, celles-ci peuvent être utilisées:

- dans le cas où la précision nécessite un vieillissement thermique à une température additionnelle;
- en tant qu'éprouvettes de référence.

Elles doivent être conservées dans une atmosphère contrôlée de manière appropriée (voir ISO 291).

Les matériaux thermodurcissables doivent être conditionnés pendant 48 h à la température d'exposition la plus basse de la plage choisie.

Si nécessaire, il convient que les matériaux thermoplastiques soient recuits pendant 48 h à la température d'exposition la plus basse de la plage choisie.

4.4 Préparation des procédés de vieillissement – température d'exposition et temps de cycle

Pour les déterminations de IT, il convient que les éprouvettes soient exposées à au moins trois températures, de préférence à au moins quatre, couvrant une plage suffisante pour démontrer une relation linéaire entre les logarithmes de la durée jusqu'en fin de vie et de l'inverse de la température thermodynamique (absolue).

Pour réduire les incertitudes du calcul de la caractéristique d'endurance thermique appropriée, la plage de températures globale de l'exposition thermique doit être sélectionnée avec soin, dans le respect des exigences suivantes:

- a) la température d'exposition la plus basse doit être une température qui produit une durée jusqu'en fin de vie médiane ou moyenne supérieure à 1/4 du temps d'extrapolation (qui est généralement de 20 000 h) lors de la détermination de IT;

NOTE 1 Le temps moyen correspondant à IT est généralement de 20 000 h; la température d'exposition la plus basse doit donc correspondre à une durée moyenne $\geq 5\,000$ h.

- b) l'extrapolation nécessaire pour déterminer IT ne doit pas dépasser 25 K;

- c) la température d'exposition la plus élevée doit être une température qui produit une durée jusqu'en fin de vie médiane ou moyenne de plus de 100 h.

NOTE 2 Pour certains matériaux, on peut ne pas être en mesure d'obtenir une durée jusqu'en fin de vie de moins de 500 h tout en gardant une linéarité satisfaisante. Cependant, il est important qu'une plage de durées jusqu'en fin de vie moyennes plus réduite conduise à un intervalle de confiance plus grand pour le résultat, pour une dispersion identique des données.

Le Tableau 1 donne des lignes directrices sur les sélections initiales à effectuer.

Un certain nombre de recommandations et de suggestions, utiles pour déterminer les durées et les températures, se trouvent à l'Annexe B de la CEI 60216-1:2013.

Avant de lancer la procédure de vieillissement thermique, on doit effectuer un essai initial à température ambiante avec le nombre d'éprouvettes nécessaires, conditionnées et soumises à essai conformément à la méthode d'essai choisie.

Le choix de températures d'exposition adéquates nécessite la détermination préalable d'informations concernant le matériau en essai. En l'absence de ces informations, des essais préliminaires peuvent faciliter le choix de températures d'exposition adaptées à l'évaluation des caractéristiques d'endurance thermique.

Pour le vieillissement thermique, des étuves doivent être utilisées, qui satisfont aux exigences spécifiées dans la CEI 60216-4-1, en particulier en ce qui concerne les tolérances de température et les taux de ventilation des échanges d'air.

Placer le nombre d'éprouvettes requis dans les différentes étuves, maintenues aux températures sélectionnées.

S'il existe un risque de contamination croisée entre les éprouvettes, dû à la présence de matériaux différents, utiliser des étuves distinctes pour chaque matériau.

A la fin de chaque période de vieillissement thermique, on retire de l'étuve le nombre d'éprouvettes requis et on les conditionne, si nécessaire, dans l'atmosphère contrôlée appropriée (voir ISO 291). L'essai, conformément au critère d'essai sélectionné, doit être effectué à température ambiante.

Poursuivre cette procédure jusqu'à ce que la valeur numérique de la caractéristique étudiée atteigne la valeur de seuil correspondante.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-8:2013

**Tableau 1 – Températures et durées d'exposition suggérées pour IT
correspondant à 20 000 h**

Valeur estimée de IT dans la plage °C	Température d'exposition °C																																			
	Cases: durée du cycle d'exposition en jours																																			
	120 0	13 0	14 0	15 0	16 0	17 0	18 0	19 0	20 0	21 0	22 0	23 0	24 0	25 0	26 0	27 0	28 0	29 0	30 0	31 0	32 0	33 0	34 0	360 0												
95-104	28		14		7		3		1																											
105-114		28		14		7		3		1																										
115-124			28		14		7		3		1																									
125-134				28		14		7		3		1																								
135-144					28		14		7		3		1																							
145-154						28		14		7		3		1																						
155-164							28		14		7		3		1																					
165-174									28		14		7		3		1																			
175-184										28		14		7		3		1																		
185-194											28		14		7		3		1																	
195-204												28		14		7		3		1																
205-214													28		14		7		3		1															
215-224															28		14		7		3		1													
225-234																28		14		7		3		1												
235-244																		28		14		7		3		1										
245-254																				28		14		7		3		1								

NOTE 1 Ce tableau est destiné essentiellement aux essais de sûreté cycliques et aux essais non destructifs, mais il peut également servir de guide pour le choix d'intervalles de temps appropriés pour les essais destructifs. Dans ce cas, des temps de cycle de 56 jours, voire supérieurs, peuvent être nécessaires.

NOTE 2 Si l'on étend le programme d'essai en soumettant des éprouvettes additionnelles au vieillissement à des températures inférieures à la plus basse des températures de vieillissement planifiées à l'origine, il convient d'envisager un intervalle de température de 10 K et une durée de cycle de 42 jours pour la détermination de IT.

5 Procédures d'évaluation numérique et graphique simplifiées

5.1 Description des procédures

A une température choisie, les variations de la valeur numérique d'une caractéristique choisie (par exemple une propriété mécanique, optique ou de diagnostic: voir CEI 60216-2) sont déterminées en fonction du temps.

La procédure se poursuit jusqu'à ce que la valeur de fin de vie spécifiée pour cette caractéristique ait été atteinte, ce qui donne la durée jusqu'en fin de vie à cette température particulière.

D'autres éprouvettes sont exposées à au moins deux autres températures, et les variations se produisant dans la caractéristique correspondante sont déterminées. Il est recommandé de faire subir aux éprouvettes des vieillissements thermiques à trois ou quatre températures, et de déterminer la durée jusqu'en fin de vie pour chacune des températures.

Lorsque les données ont été obtenues pour toutes les températures, on trace un graphique d'endurance thermique et on effectue un calcul statistique relativement simple pour déterminer si la linéarité du graphique permet le calcul des caractéristiques d'endurance thermique.

L'essai choisi doit se rapporter à une caractéristique ayant vraisemblablement une certaine importance en pratique et, dans la mesure du possible, on doit utiliser les méthodes d'essai spécifiées dans les normes internationales (voir, par exemple, la CEI 60216-2). Si les