IEC 60216-5

Edition 3.0 2008-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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



IEC 60216-5:2008

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.
If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.
Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

IEC 60216-5

Edition 3.0 2008-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

T

ICS 19.020; 29.020; 29.035.01

ISBN 2-8318-9655-X

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

CONTENTS

FOREWORD 3
1 Scope 5
2 Normative references 5
3 Terms, definitions, symbols, units and abbreviations 5
3.1 Terms, abbreviations, and definitions 6
3.2 Symbols and units 7
3.3 Objectives of RTE determination 8
4 Experimental procedures 8
4.1 Selection of reference EIM 8
4.2 Selection of diagnostic test for extent of ageing 9
4.3 Ageing procedures 9
5 Calculation procedures 10
5.1 Thermal endurance data – Calculation of intermediate parameters 10
5.2 Calculation of RTE 11
5.3 Statistical and numerical tests 11
5.3.1 Tests of IEC 60216-3 11
5.3.2 Precision of correlation time 12
5.3.3 Lower confidence interval of RTE 12
5.3.4 Extrapolation 13
6 Report 13
6.1 Results of statistical and numerical tests 13
6.2 Results 13
6.3 Report 13
7 Material testing by short-term thermal ageing 13
8 Insulation classification 14
Annex A (informative) Repeatability of correlation time 15
Annex B (informative) Thermal class assignment 18
Annex C (informative) Computer program 20
Annex D (informative) Selection of the reference EIM 21
Bibliography 23

Figure 1 – Thermal endurance graphs 9
Figure 2 – Unacceptable thermal endurance graphs 10

Table 1 – Input parameters for the calculations concerning RTE 11
Table B.1 – Thermal class equivalents for insulating material 18
Table B.2 – F– function; p = 0,05 19
Table B.3 – t–function 19

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRICAL INSULATING MATERIALS – THERMAL ENDURANCE PROPERTIES –

Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
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 60216-5 has been prepared by IEC technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems.

This third edition cancels and replaces the second edition, published in 2003, and constitutes a technical revision.

This third edition clarifies and corrects a few items and adds an Annex D which provides criteria for the selection of the reference (or reference EIM). The third edition provides instructions for deriving a provisional estimate of the temperature up to which a material may give satisfactory performance in an application (by comparative thermal ageing with a material of known performance).

This standard is to be read in conjunction with IEC 60216-1, IEC 60216-2 and IEC 60216-3.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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

FDIS	Report on voting
112/89/FDIS	112/94/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.

The list of all the parts of the IEC 60216 series, 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 maintenance result 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.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

ELECTRICAL INSULATING MATERIALS – THERMAL ENDURANCE PROPERTIES –

Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material

1 Scope

This part of IEC 60216 specifies the experimental and calculation procedures to be used for deriving the relative thermal endurance index of a material from experimental data obtained in accordance with the instructions of IEC 60216-1 and IEC 60216-2. The calculation procedures are supplementary to those of IEC 60216-3.

Guidance is also given for assessment of thermal ageing after a single fixed time and temperature, without extrapolation.

The experimental data may in principle be obtained using destructive, non-destructive or proof tests, although destructive tests have been much more extensively employed. Data obtained from non-destructive or proof tests may be "censored", in that measurement of times taken to reach the endpoint may have been terminated at some point after the median time but before all specimens have reached end-point (see IEC 60216-1).

Guidance is given for preliminary assignment of a thermal class for an insulating material, based upon the thermal ageing performance.

The calculation procedures of this standard also apply to the determination of the thermal class of an electrical insulation system when the thermal stress is the prevailing ageing factor.

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 60216-1:2001, *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

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 60216-3:2006, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics*

3 Terms, definitions, symbols, units and abbreviations

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

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.1 Terms, abbreviations, and definitions

3.1.1
electrical insulating material
EIM
solid or fluid with negligibly low electric conductivity, or a simple combination of such materials, used to separate conducting parts at different electrical potential in electrotechnical devices

3.1.2
assessed thermal endurance index
ATE
numerical value of the temperature in degrees Celsius, up to which the reference EIM possesses known, satisfactory service performance in the specified application

NOTE 1 The value of the ATE may vary between applications for the same material.

NOTE 2 Sometimes referred to as “absolute” thermal endurance index.

3.1.3
candidate EIM
material for which an estimate of the thermal endurance is required to be determined

NOTE The determination is made by simultaneous thermal ageing of the material and a reference EIM.

3.1.4
reference EIM
material with known thermal endurance, preferably derived from service experience, used as a reference for comparative tests with the candidate EIM

3.1.5
central second moment of a data group
sum of the squares of the differences between the data values and the value of the group mean divided by the number of data in the group

3.1.6
correlation time
estimated time to endpoint of the reference EIM at a temperature equal to its assessed thermal endurance (ATE) in degrees Celsius

3.1.7
degrees of freedom
number of data values minus the number of parameter values

3.1.8
standard error
standard error of an estimate of the true value of a data group property is the value of the standard deviation of the hypothetical sampling population of which the group property may be considered to be a member

NOTE 1 For the group mean it is equal to the group standard deviation divided by the square root of the number of data in the group, and indicates the uncertainty in the true value of the mean.

NOTE 2 This standard is concerned only with means and the difference between two means (see Clause A.2).

3.1.9
standard deviation
square root of the variance of a data group or sub-group

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.1.10
relative thermal endurance index
RTE
numerical value of the temperature in degrees Celsius at which the estimated time to endpoint of the candidate EIM is the same as the estimated time to endpoint of the reference EIM at a temperature equal to its assessed thermal endurance (ATE)

3.1.11
variance of a data group
sum of the squares of the deviations of the data from a reference level defined by one or more parameters, divided by the number of degrees of freedom

NOTE The reference level may, for example, be a mean value (1 parameter) or a line (2 parameters, in this standard, the slope and the intercept with the y axis).

3.2 Symbols and units

a_A	Regression coefficient (y-intercept) of thermal endurance equation for reference EIM
a_B	Regression coefficient (y-intercept) of thermal endurance equation for candidate EIM
b_A	Regression coefficient (slope) of thermal endurance equation for reference EIM
b_B	Regression coefficient (slope) of thermal endurance equation for candidate EIM
X	Variable for statistical analysis equal to $1/(\vartheta + \Theta_0)$
Y	Variable for statistical analysis equal to $\ln(\tau)$
ϑ	Ageing temperature in determination of RTE
Θ_0	Temperature on Kelvin scale equal to 0 °C
τ	Time to endpoint
τ_c	Estimated time to endpoint of reference EIM at a temperature equal to ATE ("correlation time")
$\mu_{2(A)}$	Central second moment of x values for reference EIM
$\mu_{2(B)}$	Central second moment of x values for candidate EIM
n_A	Number of y values for reference EIM data
n_B	Number of y values for candidate EIM data
T	Student's t distributed stochastic variable
S	Standard error of the difference of two means
s_A^2	Variance of y values for reference EIM data
s_B^2	Variance of y values for candidate EIM data
$\bar{x}_A$	General mean of x-values for reference EIM data
$\bar{x}_B$	General mean of x-values for candidate EIM data
$\bar{y}_A$	General mean of y-values for reference EIM data
$\bar{y}_B$	General mean of y-values for candidate EIM data
θ_A	Temperature in degrees Celsius equal to ATE
θ_B	Temperature in degrees Celsius equal to RTE

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

$\hat{X}_B$	x value corresponding to θ_B
$\hat{X}_A$	x value corresponding to θ_A
$\theta_{c(B)}$	Lower confidence limit of θ_B
$\theta_{c(A)}$	Lower confidence limit of θ_A
$X_{L(B)}$	x value corresponding to lower confidence limit of θ_B
$X_{L(A)}$	x value corresponding to lower confidence limit of θ_A
Δ_B	Lower confidence interval of θ_B
Δ_A	Lower confidence interval of θ_A
$HIC_{B(c)}$	Halving interval of candidate EIM at a time equal to τ_c
s_D^2	Variance associated with the difference between the mean y-values for the two materials
n_D	Degrees of freedom of s_D^2
υ_A, υ_B	Logarithms of the longest mean times to endpoint for materials A and B
b_r	Intermediate variable: adjusted value of b for calculation of temperature confidence interval
s_r	Intermediate variable: adjusted value of s for calculation of temperature confidence interval

3.3 Objectives of RTE determination

The objectives of the determination are as follows.

a) To exploit an assumed relationship between thermal endurance (with an appropriate test criterion for ageing) and service performance, and to use this to predict a value for a preliminary assessment of service temperature of a material for which there is relatively little service experience (by comparison with a known reference EIM, see Clauses 4 and 5).

NOTE In the majority of cases, this will involve extrapolation to a longer time and/or lower temperature than in the experimental data. This extrapolation should be kept to a minimum by appropriate choice of ageing temperatures and times, since the uncertainty in the result increases rapidly as the extrapolation is increased. However, even when there is no extrapolation, the uncertainty is still finite, on account of the variances of the experimental data and experimental errors.

b) To improve the precision of a thermal endurance determination by reduction of systematic errors in the ageing process. If, after ageing, the results for the reference EIM are found to be significantly different from earlier experience, this may indicate changes in material or equipment. This may be investigated and possibly corrected. In any case, the simultaneous ageing of reference and candidate will at least partially compensate for systematic changes. Statistical procedures for use in assessing the significance of changes are given in Annex A.

c) To provide instructions for assigning a thermal class to an EIM.

4 Experimental procedures

4.1 Selection of reference EIM

The primary requirement for the reference EIM is that it has a known thermal endurance index (ATE) for the application under consideration. The thermal endurance index, if determined by an RTE procedure, is preferably supported by actual service experience (see Annex D).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

The expected ageing mechanisms and rates of both materials shall be similar, and relevant to the application.

4.2 Selection of diagnostic test for extent of ageing

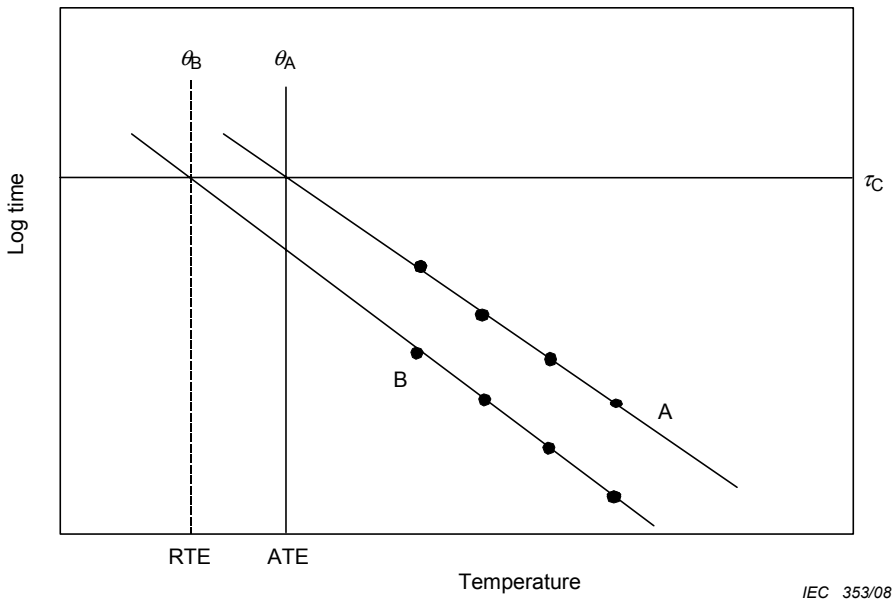
The diagnostic test shall be one considered relevant to the application for which the RTE is required. The same test shall be applied to both reference and candidate EIM.

4.3 Ageing procedures

The number and type of test specimens of each material and the ageing temperatures and times shall be in accordance with the requirements of IEC 60216-1 (5.3.2, 5.4 and the first paragraph of 5.5). At each ageing temperature, the oven load shall comprise appropriate numbers of test specimens of both materials in the same oven. The specimens shall be evenly distributed in the oven so that there is likely to be no systematic difference between the ageing conditions applied to the specimens of the two materials. It is important that test specimens of both materials are aged simultaneously at a minimum of three temperatures to be included in the calculations.

NOTE As an example, while the data represented in Figure 1 would be acceptable for analysis, of the data represented by Figure 2, the lowest temperature group of the candidate EIM and the highest temperature group of the reference cannot be included, since in each case, the specimen group is made up of only one material or one of the two materials did not reach the chosen end point within the test time.

If, when ageing at the selected temperatures is completed, the results from either material do not satisfy the requirements of 6.1 b) of this standard, a further specimen group shall be aged, within the same oven, at an appropriate temperature. This group shall again be composed of the required number and type of specimens of each material.



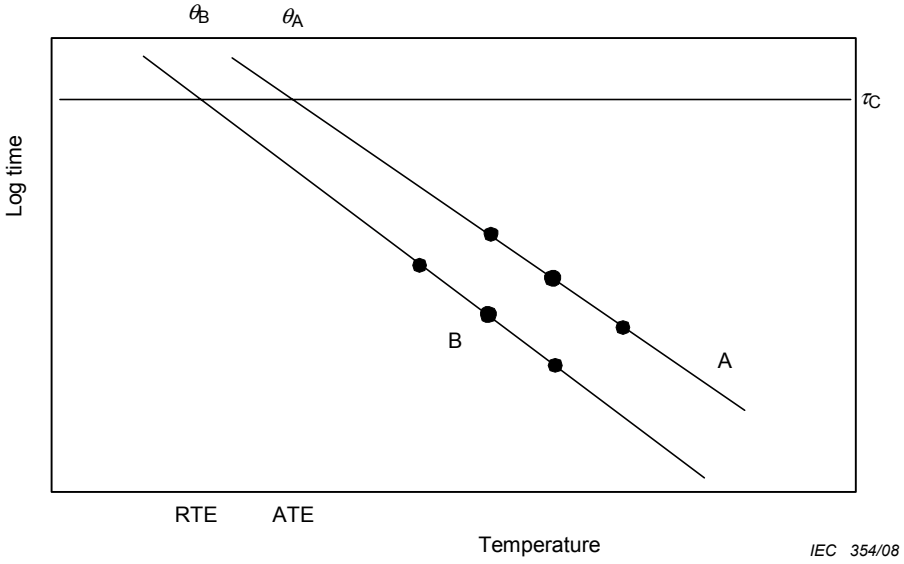
Key

A = reference EIM

B = candidate EIM

Figure 1 – Thermal endurance graphs

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



Key

A = reference EIM

B = candidate EIM

NOTE The test specimens of both materials are not aged simultaneously at a minimum of three temperatures.

Figure 2 – Unacceptable thermal endurance graphs

5 Calculation procedures

5.1 Thermal endurance data – Calculation of intermediate parameters

Calculation of the thermal endurance equations shall be made in accordance with the instructions of IEC 60216-3.

The following input parameters as set out in Table 1 are needed for the calculations relevant to RTE, and should be recorded (each of the symbols may have either subscript A for reference EIM or B for candidate EIM).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Table 1 – Input parameters for the calculations concerning RTE

Parameter	Symbol in IEC 60216-3	Equation in IEC 60216-3	Symbol in IEC 60216-5	
Slope of regression line	b	(33)	b_A	b_B
Intercept of regression line	a	(34)	a_A	a_B
Weighted mean of x values	$\bar{x}$	(26)	$\bar{x}_A$	$\bar{x}_B$
Central 2nd moment of x values	$\mu_2(x)$	(31)	$\mu_{2(A)}$	$\mu_{2(B)}$
Weighted mean of y values	$\bar{y}$	(27)	$\bar{y}_A$	$\bar{y}_B$
Variance of y values	s^2	(41)	s_A^2	s_B^2
Number of y values	N	(25)	n_A	n_B
Halving interval	HIC	(53)	–	$HIC_{B(c)}$
Largest mean log time to endpoint	$\bar{y}_k$	–	υ_A	υ_B
Lower confidence limit of θ	$\hat{\vartheta}_c$	(50)	$\theta_{c(A)}$	$\theta_{c(B)}$
NOTE If the calculations of IEC 60216-3 are performed by the recommended computer programme, subroutines should be included to record the parameters in a data file which can be recalled for the purposes of the present calculations. Alternatively, the values of $\theta_{c(A)}$ and $\theta_{c(B)}$ may be calculated directly in that program.				

The result of the linearity test (IEC 60216-3, 6.3.2) is also needed.

5.2 Calculation of RTE

Calculation of the coefficients of the thermal endurance equations shall be made for both reference and candidate EIMs in accordance with the instructions of 6.1 and 6.2 of IEC 60216-3 (see 5.1 of this standard). From these coefficients the values of τ_c and θ_B shall be calculated as below (see also Figure 1).

a) From the regression coefficients of the reference EIM, calculate the time τ_c corresponding to its ATE:

$$\ln \tau_c = a_A + \frac{b_A}{(\theta_A + \Theta_0)} \quad (1)$$

b) From the regression coefficients of the candidate EIM, calculate the temperature corresponding to the time τ_c:

$$\theta_B = \frac{b_B}{[\ln(\tau_c) - a_B]} - \Theta_0 \quad (2)$$

The required RTE is equal to the value of θ_B in degrees Celsius.

5.3 Statistical and numerical tests

5.3.1 Tests of IEC 60216-3

The statistical and numerical tests of IEC 60216-3 shall be carried out before the calculations of this standard, and their results employed in compiling the report of Clause 6.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.3.2 Precision of correlation time

Where a reference EIM has been tested on a previous occasion, with the same diagnostic test and ATE, the values of τ_c should be compared using the Student's t-test for the difference of two means. A significant difference may imply a change in the reference EIM itself, a change in the oven equipment or a change in the test apparatus. The cause should be investigated and reported.

Statistical procedures for assessing the significance of differences between values are given in Annex A.

5.3.3 Lower confidence interval of RTE

The lower confidence limit of RTE is calculated from the lower confidence limits of temperature estimates equal to θ_A and θ_B (IEC 60216-3, 6.3.3 b), Equations (46) to (50)).

The lower confidence limit of θ_B, $\theta_{c(B)}$, is calculated as in IEC 60216-3, 6.3.3 b) for a time equal to τ_c and subtracted from θ_B to give the confidence interval Δ_B.

$$X_{L(B)} = \bar{x}_B + \frac{(Y - \bar{y}_B)}{b_r} + \frac{t\, s_r}{b_r} \tag{3}$$

$$Y = \ln \tau_c \quad ; \quad \hat{X}_B = (Y - a_B)/b_B \tag{4}$$

$$\text{where } b_r = b_B - \frac{t^2 s_B^2}{b_B\, \mu_{2(B)}} \tag{5}$$

$$s_r^2 = s_B^2 \left(\frac{b_r}{b_B} + \frac{\left(\hat{X} - \bar{x}_B\right)^2}{\mu_{2(B)}} \right) \tag{6}$$

where t is the value of Student's t for n_B degrees of freedom and a significance level of 0,05 (see Table B.3);

$\mu_{2(B)}$ is the central second moment of the x values:

$$\mu_{2(B)} = \frac{1}{n_B} \sum_{i=1}^{k} n_{i(B)} \left(x_{i(B)} - \bar{x}_{(B)} \right)^2 \tag{7}$$

(see IEC 60216-3, 6.2.2 for details).

The lower confidence limit of θ_A, $\theta_{c(A)}$ is calculated as above for a time equal to τ_c and subtracted from θ_A to give the confidence interval Δ_A.

The lower confidence interval of RTE, Δ_R, is then equal to the "Pythagorean" (orthogonal) vector sum of the above two intervals:

$$\Delta_R = \sqrt{\left(\Delta_A^2 + \Delta_B^2\right)} \tag{8}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.3.4 Extrapolation

The extrapolation required to estimate the correlation time is calculated for both reference and candidate EIMs as the difference between the logarithm of the correlation time and the greatest value of the mean of the logarithms of the ageing times to endpoint (υ_A or υ_B). The extrapolation required is the greater of these two values.

6 Report

6.1 Results of statistical and numerical tests

The following criteria apply.

a) Linearity of thermal endurance relationships and confidence intervals of TI results of both reference and candidate EIMs (see IEC 60216-3, 6.3.2 and 6.3.3) which shall satisfy the requirements of IEC 60216-3, 7.3.1 and 7.3.2.

b) Extrapolation to the correlation time (see 5.3.4 above): the extrapolation, expressed as the ratio of correlation time to greatest geometric mean ageing time shall be less than 4.

c) Lower confidence interval of RTE (see 5.3.3 above): The value of Δ_R shall be less than the halving interval ($HIC_{B(c)}$) of the candidate EIM at a time equal to the correlation time (see IEC 60216-3, 7.1).

$$HIC_{B(c)} = b_B \left[\frac{1}{((\ln \tau_c / 2) - a_B)} - \frac{1}{(\ln \tau_c - a_B)} \right] \quad (9)$$

6.2 Results

The results shall be determined from the calculations of 5.2 and 5.3.3 as follows.

a) If all three test criteria (see 6.1) are satisfied, the result shall be the value of RTE. The result shall be reported in the format: "RTE according to IEC 60216-5 = xxx".

b) If one of the test criteria is not satisfied, the result shall be the lower 95 % confidence limit of RTE. The result shall be reported in the format: "RTE lower 95 % confidence limit = xxx"

c) If two or more of the criteria are not satisfied, a result in accordance with the requirements of IEC 60216-5 cannot be reported. The result may be reported in the format: "RTE = xxx. (Result not validated by the statistical analysis)".

6.3 Report

The report shall comprise the following:

a) the result;

b) the identification of the reference EIM and its ATE (see Annex D);

c) the diagnostic test employed and the endpoint;

d) the thermal endurance reports according to IEC 60216-1 for the reference and candidate EIMs;

e) the details of the failure of statistical validation for a result in category 6.2 c).

7 Material testing by short-term thermal ageing

There is often a need for short-term thermal ageing tests on materials, e.g. to compare thermal performances of materials having slight chemical modifications with respect to a known reference EIM, or in quality reference testing of insulation containing anti-oxidant

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

constituents, where ageing at the rated temperature of the material for a period of a few thousand hours could be employed.

The interpretation of such tests can be quite difficult, particularly if the ageing is at a single temperature, with property measurement after a single fixed time. The absence of testing for compliance with a chemical kinetic model leads to a liability to systematic errors caused by equipment or material changes.

It is recommended that in such cases, a reference EIM of similar type and rating as the test material should be aged simultaneously and tested after the same time. A similar analysis to that of Annex A can then be applied to the two sets of property values to establish whether there are significant differences between

a) the candidate EIM and the reference EIM, or
b) the current test values of the reference EIM and the historical values obtained on the same material.

In this analysis, s_1^2 and s_2^2 are the variances of the groups of property values after ageing at the test temperature; $\bar{y}_1$ and $\bar{y}_2$ are the means of these groups (see Equations (A.1) to (A.4)).

Unless otherwise specified, the test for significant difference shall be made at a level of 0,05 (see Table B.1).

If significant differences are not found, it may be assumed that the thermal endurance performances of the two materials being compared are the same. If significant differences are found in case a) above, it is likely that the performance of the candidate EIM will not be the same as that of the reference. If significant differences are found in case b) above, then it is likely that the ageing conditions differ in some way from those originally employed: they should be investigated and the cause established.

8 Insulation classification

When required, the candidate EIM may be assigned to an insulation thermal class in accordance with Table B.1.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex A
(informative)

Repeatability of correlation time

A.0 Overview

Where a reference EIM has been tested on a previous occasion, the values of τ_c should be compared. A significant difference may imply a change in the reference EIM itself, or possibly a change in the oven equipment or a change in the test apparatus. The cause should be investigated and reported.

The comparison is made using the Student's t-test for the difference of two means, by the procedures below. The suffices 1 and 2 refer to the two sets of data. In the equations, the values $\bar{y}_1$ and $\bar{y}_2$ are the logarithms of the two values of correlation time.

A.1 F-test for equality of variances

The variances of the y-values for the reference EIMs in the present and previous determinations (s_1^2 and s_2^2) shall be calculated in accordance with the instructions of IEC 60216-3 (6.3.2, Equation (41) or (42)). Their ratio is then tested for equality of the variances by the F-test on a significance level of 0,05 with degrees of freedom n_1-2 and n_2-2 (see Table B.1).

NOTE The symbols s_1^2 and s_2^2 here refer to the estimates of variance for the material on occasions 1 and 2, and not to the within and between classes as given in IEC 60216-3, Equations (41) and (42).

A.2 Standard error of the difference of two means

The values of variance are combined using Equations (A.1) and (A.2) if the values are not significantly different:

$$s_D^2 = \frac{s_1^2\,(n_1 - 1) + s_2^2\,(n_2 - 1)}{(n_1 + n_2 - 2)}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) \tag{A.1}$$

$$n_D = (n_1 + n_2 - 2) \tag{A.2}$$

If the values of variance are significantly different, then Equations (A.3) and (A.4) shall be used. In this case the value n_D may not be an integer. The nearest integer (rounded up or down as appropriate) shall then be employed in subsequent calculations.

$$s_D^2 = \frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \tag{A.3}$$

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

$$n_{\mathrm{D}} = \frac{\left(s_{\mathrm{D}}^2\right)^2}{\dfrac{\left(\dfrac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \dfrac{\left(\dfrac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} \tag{A.4}$$

The square root of the value of s_{D}^2 is the standard error, s, of the difference of the general means of the y-values.

NOTE When the values of n_1 and n_2 are equal, Equations (A.1) and (A.3) become identical.

A.3 Student's *t*-test for difference of two means

When two estimates of a mean value (which in this case includes estimates by linear regression) are obtained from separate sets of data and the true values are expected to be the same, their equality may be tested by the Student's t-test. The principle of this test is to calculate the ratio of the difference of the mean estimates to the standard error of this difference. The variances of the two data sets are combined in the same way as the variances in Clause A.2 and the standard error calculated.

The value of t is the ratio of the difference of the means to the standard error:

$$t = \frac{\left(\bar{y}_1 - \bar{y}_2\right)}{\sqrt{s_{\mathrm{D}}^2}} \tag{A.5}$$

The associated number of degrees of freedom is n_{D} or the nearest integer. If the value of t is greater than the value for a significance level of 0,05 given in Table B.2, the difference is considered to be significant and its cause should be investigated.

For the purposes of 5.3.2, in the calculations of Equations (A.1) to (A.5), the values of s_1^2 and s_2^2 are obtained using Equation (45) of IEC 60216-3 (6.3.3), viz:

$$s_Y^2 = \frac{s^2}{N}\left[1 + \frac{\left(X - \bar{x}\right)^2}{\mu_2(x)}\right]$$

$$s_1^2 = \left|N\, s_Y^2\right|_1 \qquad \text{and} \qquad s_2^2 = \left|N\, s_Y^2\right|_2 \tag{A.6}$$

The values of $\bar{y}_1$ and $\bar{y}_2$ are the logarithms of the two values of τ_{c}.

A.4 Combination of data

If the two results for correlation time and the two values of variance are not significantly different, a more precise estimate of the logarithm of correlation time may be obtained by merging the two sets of data:

$$\bar{y} = \frac{\left(n_1 \bar{y}_1 + n_2 \bar{y}_2\right)}{\left(n_1 + n_2\right)} \tag{A.7}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

$$s^2 = \frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{(n_1 + n_2 - 2)} \quad \text{(A.8)}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex B
(informative)

Thermal class assignment

Table B.1 relates the thermal class assignment, when required, to the value of ATE/RTE, in accordance with IEC 60085.

Table B.1 – Thermal class equivalents for insulating material

	ATE/RTE			Thermal class		Letter designation
	°C			°C		
	≥90	<105		90		Y
	≥105	<120		105		A
	≥120	<130		120		E
	≥130	<155		130		B
	≥155	<180		155		F
	≥180	<200		180		H
	≥200	<220		200		N
	≥220	<250		220		R
	≥250	<275		250		

[a] If desired, the letter designation may be added in parentheses, e.g. Class 180 (H). Where space is a factor, such as on a nameplate, the product TC may elect to use only the letter designation.

[b] Designations of thermal classes over 250 shall increase by increments of 25 and be designated accordingly.

Tables B.2 and B.3 give the values of F and of Student's t for significance levels of 0,05 and 0,005.

NOTE 1 The significance, p, is equal to 1-P, where P is the probability of the stochastic variable (F or t) being less than the tabulated value.

The columns of the F table (Table B.2) represent the number of degrees of freedom of the numerator and the rows the number of degrees of freedom of the denominator.

The columns of the t table (Table B.3) represent the number of degrees of freedom and the rows the significance level (p).

NOTE 2 The tables include significance levels of 0,05 and 0,005 in case they should at any time be needed. For present purposes, the 0,005 values may be deleted, but they are on record for future use.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Table B.2 – F– function; p = 0,05

	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	30	40	50	100	500
10	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	2,828	2,812	2,798	2,785	2,774	2,730	2,700	2,661	2,637	2,588	2,548
11	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	2,701	2,685	2,671	2,658	2,646	2,601	2,570	2,531	2,507	2,457	2,415
12	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	2,599	2,583	2,568	2,555	2,544	2,498	2,466	2,426	2,401	2,350	2,307
13	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	2,515	2,499	2,484	2,471	2,459	2,412	2,380	2,339	2,314	2,261	2,218
14	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	2,445	2,428	2,413	2,400	2,388	2,341	2,308	2,266	2,241	2,187	2,142
15	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	2,385	2,368	2,353	2,340	2,328	2,280	2,247	2,204	2,178	2,123	2,078
16	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	2,333	2,317	2,302	2,288	2,276	2,227	2,194	2,151	2,124	2,068	2,022
17	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	2,289	2,272	2,257	2,243	2,230	2,181	2,148	2,104	2,077	2,020	1,973
18	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269	2,250	2,233	2,217	2,203	2,191	2,141	2,107	2,063	2,035	1,978	1,929
19	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234	2,215	2,198	2,182	2,168	2,155	2,106	2,071	2,026	1,999	1,940	1,891
20	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	2,184	2,167	2,151	2,137	2,124	2,074	2,039	1,994	1,966	1,907	1,856
25	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	2,069	2,051	2,035	2,021	2,007	1,955	1,919	1,872	1,842	1,779	1,725
30	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	1,995	1,976	1,960	1,945	1,932	1,878	1,841	1,792	1,761	1,695	1,637
40	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	1,904	1,885	1,868	1,853	1,839	1,783	1,744	1,693	1,660	1,589	1,526
50	2,026	1,986	1,952	1,921	1,895	1,871	1,850	1,831	1,814	1,798	1,784	1,727	1,687	1,634	1,599	1,525	1,457
100	1,927	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768	1,746	1,726	1,708	1,691	1,676	1,616	1,573	1,515	1,477	1,392	1,308
500	1,850	1,808	1,772	1,740	1,712	1,686	1,664	1,643	1,625	1,607	1,592	1,528	1,482	1,419	1,376	1,275	1,159

F– function; p = 0,005

	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	30	40	50	100	500
10	5,847	5,746	5,661	5,589	5,526	5,471	5,422	5,379	5,340	5,305	5,274	5,153	5,071	4,966	4,902	4,772	4,666
11	5,418	5,320	5,236	5,165	5,103	5,049	5,001	4,959	4,921	4,886	4,855	4,736	4,654	4,551	4,488	4,359	4,252
12	5,085	4,988	4,906	4,836	4,775	4,721	4,674	4,632	4,595	4,561	4,530	4,412	4,331	4,228	4,165	4,037	3,931
13	4,820	4,724	4,643	4,573	4,513	4,460	4,413	4,372	4,334	4,301	4,270	4,153	4,073	3,970	3,908	3,780	3,674
14	4,603	4,508	4,428	4,359	4,299	4,247	4,200	4,159	4,122	4,089	4,059	3,942	3,862	3,760	3,698	3,569	3,463
15	4,424	4,329	4,250	4,181	4,122	4,070	4,024	3,983	3,946	3,913	3,883	3,766	3,687	3,585	3,523	3,394	3,287
16	4,272	4,179	4,099	4,031	3,972	3,920	3,875	3,834	3,797	3,764	3,734	3,618	3,539	3,437	3,375	3,246	3,139
17	4,142	4,050	3,971	3,903	3,844	3,793	3,747	3,707	3,670	3,637	3,607	3,492	3,412	3,311	3,248	3,119	3,012
18	4,030	3,938	3,860	3,793	3,734	3,683	3,637	3,597	3,560	3,527	3,498	3,382	3,303	3,201	3,139	3,009	2,901
19	3,933	3,841	3,763	3,696	3,638	3,587	3,541	3,501	3,465	3,432	3,402	3,287	3,208	3,106	3,043	2,913	2,804
20	3,847	3,756	3,678	3,611	3,553	3,502	3,457	3,416	3,380	3,347	3,318	3,203	3,123	3,022	2,959	2,828	2,719
25	3,537	3,447	3,370	3,304	3,247	3,196	3,151	3,111	3,075	3,043	3,013	2,898	2,819	2,716	2,652	2,519	2,406
30	3,344	3,255	3,179	3,113	3,056	3,006	2,961	2,921	2,885	2,853	2,823	2,708	2,628	2,524	2,459	2,323	2,207
40	3,117	3,028	2,953	2,888	2,831	2,781	2,737	2,697	2,661	2,628	2,598	2,482	2,401	2,296	2,230	2,088	1,965
50	2,988	2,900	2,825	2,760	2,703	2,653	2,609	2,569	2,533	2,500	2,470	2,353	2,272	2,164	2,097	1,951	1,821
100	2,744	2,657	2,583	2,518	2,461	2,411	2,367	2,326	2,290	2,257	2,227	2,108	2,024	1,912	1,840	1,681	1,529
500	2,562	2,476	2,402	2,337	2,281	2,230	2,185	2,145	2,108	2,075	2,044	1,922	1,835	1,717	1,640	1,460	1,260

Table B.3 – t–function

	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	30	40	50	100	500
p = 0,05	1,812	1,796	1,782	1,771	1,761	1,753	1,746	1,740	1,734	1,729	1,725	1,708	1,697	1,684	1,676	1,660	1,648
p = 0,005	3,169	3,106	3,055	3,012	2,977	2,947	2,921	2,898	2,878	2,861	2,845	2,787	2,750	2,704	2,678	2,626	2,586

Annex C
(informative)

Computer program

This standard is accompanied by a CD containing computer programs to execute the appropriate calculations. Both executable format and source code are included. In addition, two data files (reference.dta and candidate.dta) for test purposes and a “read.me” file are included.

The program “RTE.exe“ and its source code “RTE.bas” are enhanced versions of the program “TI.bas” included in IEC 60216-3 (Annex E) and are to be operated in DOS or a DOS Window. As well as the RTE and confidence limits for statistical calculations, the TI result and its associated values are reported.

The following procedure should be followed.

a) Using the program “Entry.bas”
   1) Enter the data for the reference EIM and save to a suitable file name.
   2) Enter the data for the candidate EIM and save to a suitable (different) file name.

b) Using the program “RTE.bas”
   1) Recall and process the reference data file.
      i. Select “Calculate time for a temperature”: enter the ATE value. Note the displayed time (correlation time).
      ii. Select “Calculate temperature for a time”: enter the correlation time.
      iii. Note the calculated temperature (equal to ATE) and the lower confidence limit.
      iv. Calculate the difference (confidence interval).
   2) Recall and process the candidate data file.
      i. Select “Calculate temperature for a time”: enter the correlation time.
      ii. Note the calculated temperature (equal to the RTE) and the lower confidence limit.
      iii. Calculate the difference (confidence interval).

c) Calculate the squares of the two differences, the sum of these squares, and the square root of the sum. This is the confidence interval of the RTE.

The results from the individual material calculations should be noted for use in the tests specified in Clause 6.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex D
(informative)

Selection of the reference EIM

D.0 Overview

The reference EIM should be selected from the materials that have known and stable thermal endurance characteristics, preferably derived from service experience. The expected ageing mechanisms and rates of both materials should be similar, and relevant to the application.

Details of the service experience and the basis for selection of the reference EIM should be presented to concerned parties who accept and utilize the reference EIM to develop the RTE of a candidate EIM.

D.1 Designation of reference EIM

The designation of reference EIM is to be specified according to this document.

The selector for the reference EIM clarifies:

a) application if available;
b) service experience if available;
c) criteria for selecting the property and the end point values;
d) limits of usage for reference EIM if available.

D.2 Reporting items for reference EIM

The following items have to be reported.

a) Identification of the selected material
    1) Name of manufacturer
    2) Product name, brand and symbol
    3) Generic type of material
    4) Composition e.g. additives. reinforcement, filler, impregnant, combined (or laminated) material, etc.
    5) Type of processing (e.g. moulding, extrusion, casting, laminating, coating, etc.)
b) Service experience of the reference EIM in the electric equipment if available
    1) Role of the insulating material (e.g. mainwall insulation, interturn insulation, intercircuit insulation, etc.)
    2) Condition in the electric device (exclusive usage, combination with other materials)
    3) Minimum thickness of the reference EIM where it fulfils its function
c) Running condition and life of the electric equipment if available, where the reference EIM was used
    1) Kind of electric equipment (e.g. cable, generator, motor, transformer, reactor, etc.)
    2) Environmental conditions if any specialities (e.g. gas or liquid, corrosive atmosphere, humidity, chemicals, radiations)
    3) Rated voltage, frequency, power
    4) Operating conditions (e.g. continuous, intermittent, short time, others)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5) Maximum temperature in the insulation system or thermal class of the electric equpment

6) Experienced life time or operated time

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Bibliography

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

SOMMAIRE

AVANT PROPOS 25
1 Domaine d'application 27
2 Références normatives 27
3 Termes, définitions, symboles, unités et abréviations 27
3.1 Termes, abréviations et définitions 28
3.2 Symboles et unités 29
3.3 Objectifs de la détermination de RTE 30
4 Procédures expérimentales 30
4.1 Sélection d'un MIE de référence 30
4.2 Choix d'un essai de diagnostic pour l'importance du vieillissement 31
4.3 Procédures de vieillissement 31
5 Procédures de calcul 33
5.1 Données d'endurance thermique – Calcul des paramètres intermédiaires 33
5.2 Calcul de la RTE 33
5.3 Essais statistiques et numériques 34
5.3.1 Essais de la CEI 60216-3 34
5.3.2 Précision du temps de corrélation 34
5.3.3 Intervalle de confiance inférieur de la RTE 34
5.3.4 Extrapolation 35
6 Rapport 35
6.1 Résultats des essais statistiques et numériques 35
6.2 Résultats 35
6.3 Rapport 36
7 Essais de matériau par vieillissement thermique de courte durée 36
8 Classification de l'isolement 37
Annexe A (informative) Répétabilité du temps de corrélation 38
Annexe B (informative) Attribution des classes thermiques 41
Annexe C (informative) Programme informatique 43
Annexe D (informative) Sélection du MIE de référence 44
Bibliographie 46

Figure 1 – Graphique d'endurance thermique 32
Figure 2 – Graphique d'endurance thermique inacceptable 32

Tableau 1 – Paramètres d'entrée pour les calculs concernant la RTE 33
Tableau B.1 – Equivalences des classes thermiques pour matériau isolant 41
Tableau B.2 – Fonction F; p = 0,05 42
Tableau B.3 – Fonction t 42

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE –

Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant

AVANT PROPOS

1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
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 60216-5 a été établie par le comité d'études 112 de la CEI: Evaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique.

Cette troisième édition annule et remplace la seconde édition publiée en 2003 dont elle constitue une révision technique.

Cette troisième édition clarifie et corrige quelques points et ajoute une Annexe (D) qui fournit des critères pour la sélection de référence ou de la référence MIE. Cette troisième édition fournit des instructions permettant de déduire une estimation temporaire de la température jusqu'à laquelle un matériau peut fournir une performance satisfaisante dans une application (par un essai de vieillissement thermique comparatif par rapport à un matériau de performance connue).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Cette norme doit être lue conjointement avec la CEI 60216-1, la CEI 60216-2 et la CEI 60216-3.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
112/89/FDIS	112/94/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, présentées 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 maintenance 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.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE –

Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60216 spécifie les procédures expérimentales et de calcul à utiliser pour déduire l'indice d'endurance thermique relatif d'un matériau à partir des données expérimentales obtenues conformément aux instructions de la CEI 60216-1 et de la CEI 60216-2. Les procédures de calcul s'ajoutent à celles indiquées dans la CEI 60216-3.

Des orientations sont également données pour évaluer le vieillissement thermique après une seule durée déterminée et une seule température, sans extrapolation.

Les données expérimentales peuvent en principe être obtenues en utilisant des essais destructifs, non destructifs ou d'épreuve, même si les essais destructifs ont été utilisés de manière beaucoup plus étendue. Les données obtenues à partir des essais non destructifs et d'épreuve peuvent être "censurées", dans le cas où la mesure du temps effectuée pour atteindre la fin de vie peut avoir été déterminée à un certain point après la durée moyenne, mais avant que toutes les éprouvettes n'aient atteint leur fin de vie (voir la CEI 60216-1).

Des orientations sont données pour l'attribution préliminaire d'une classe thermique pour un matériau isolant, fondée sur les performances de vieillissement thermique.

Les procédures de calcul de la présente norme sont également applicables à la détermination de la classe thermique d'un système d'isolation électrique lorsque la contrainte thermique est le facteur de vieillissement prédominant.

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 60216-1:2001, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 1: Méthodes de vieillissement et évaluation des résultats d'essai*

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 60216-3:2006. *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Part 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique*

3 Termes, définitions, symboles, unités et abréviations

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.1 Termes, abréviations et définitions

3.1.1
matériau d'isolation électrique
MIE
solide ou liquide de conductivité électrique faible pratiquement négligeable, ou combinaison simple de tels matériaux, utilisé pour séparer des pièces conductrices portées à des potentiels différents dans des dispositifs électrotechniques

3.1.2
indice d'endurance thermique évaluée
ATE (*Assessed Thermal Endurance*)
valeur numérique de la température en degrés Celsius, jusqu'à laquelle le MIE de référence possède des aptitudes en service connues et satisfaisantes dans l'application spécifiée

NOTE 1 La valeur d'endurance thermique évaluée peut varier entre les applications pour un même matériau.

NOTE 2 Parfois appelé indice d'endurance thermique « absolue ».

3.1.3
MIE candidat
matériau pour lequel il est requis de réaliser une estimation de l'endurance thermique

NOTE La détermination est faite par vieillissement thermique du matériau et simultanément d'un MIE de référence.

3.1.4
MIE de référence
matériau à l'endurance thermique connue, de préférence déduite de l'expérience en service, utilisé comme référence pour des essais comparatifs avec un MIE candidat

3.1.5
moment centré d'ordre 2 d'un groupe de données
somme des carrés des différences entre les valeurs des données et la valeur de la moyenne du groupe divisée par le nombre de données dans le groupe

3.1.6
temps de corrélation
durée estimée jusqu'en fin de vie du MIE de référence, obtenue pour une température égale à son endurance thermique évaluée (ATE) en degrés Celsius

3.1.7
degrés de liberté
nombre de valeurs de données moins le nombre de valeurs de paramètres

3.1.8
erreur type
l'erreur type d'estimation de la vraie valeur d'une propriété d'un groupe de données est la valeur de l'écart type de la population échantillon supposée pour laquelle la propriété du groupe peut être considérée comme membre de ce groupe

NOTE 1 Pour la moyenne du groupe elle est égale à l'écart type du groupe divisé par la racine carrée du nombre de données dans le groupe, et elle indique l'incertitude de la moyenne dans la valeur réelle.

NOTE 2 La présente norme concerne uniquement les moyennes et la différence entre deux moyennes (voir l'Article A.2).

3.1.9
écart type
racine carrée de la variance d'un groupe ou d'un sous-groupe de données

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.1.10
indice d'endurance thermique relatif
RTE
valeur de la température exprimée en degrés Celsius, pour laquelle la durée estimée jusqu'en fin de vie du MIE candidat est la même que la durée estimée jusqu'en fin de vie du MIE de référence obtenue pour une température égale à son endurance thermique évaluée (ATE)

3.1.11
variance du groupe de données
somme des carrés des écarts types des données par rapport à un niveau de référence défini par un ou plusieurs paramètres, divisée par le nombre de degrés de liberté

NOTE Le niveau de référence peut être, par exemple, une valeur moyenne (1 paramètre) ou une droite (2 paramètres, dans la présente norme, la pente et le point d'intersection avec l'axe y).

3.2 Symboles et unités

a_A	Coefficient de régression (intersection avec l'axe de y) de la droite d'endurance thermique pour le MIE de référence
a_B	Coefficient de régression (intersection avec l'axe de y) de la droite d'endurance thermique pour le MIE candidat
b_A	Coefficient de régression (pente) de la droite d'endurance thermique pour le MIE de référence
b_B	Coefficient de régression (pente) de la droite d'endurance thermique pour le MIE candidat
X	Variable pour l'analyse statistique égale à $1/(\vartheta + \Theta_0)$
Y	Variable pour l'analyse statistique égale à $\ln(\tau)$
ϑ	Température de vieillissement lors de la détermination de RTE
Θ_0	Température sur l'échelle de Kelvin égale à 0°C
τ	Durée jusqu'en fin de vie
τ_c	Durée estimée jusqu'en fin de vie d'un MIE de référence pour une température égale à ATE ("temps de corrélation")
$\mu_{2(A)}$	Moment centré d'ordre 2 des valeurs de x pour un MIE de référence
$\mu_{2(B)}$	Moment centré d'ordre 2 des valeurs de x pour un MIE candidat
n_A	Nombre de valeurs de y pour les données d'un MIE de référence
n_B	Nombre de valeurs de y pour les données d'un MIE candidat
T	Variable stochastique distribuée t de «Student»
S	Erreur type de la différence de deux moyennes
s_A^2	Variance de valeurs de y pour les données d'un MIE de référence
s_B^2	Variance de valeurs de y pour les données d'un MIE candidat
$\bar{x}_A$	Moyenne générale des valeurs de x pour les données d'un MIE de référence
$\bar{x}_B$	Moyenne générale des valeurs de x pour les données d'un MIE candidat
$\bar{y}_A$	Moyenne générale des valeurs de y pour les données d'un MIE de référence
$\bar{y}_B$	Moyenne générale des valeurs de y pour les données d'un MIE candidat
θ_A	Température en degrés Celsius égale à ATE
θ_B	Température en degrés Celsius égale à RTE

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

$\hat{X}_B$	Valeur de x correspondant à θ_B
$\hat{X}_A$	Value de x correspondant à θ_A
$\theta_{c(B)}$	Limite de l'intervalle de confiance inférieur de θ_B
$\theta_{c(A)}$	Limite de l'intervalle de confiance inférieur de θ_A
$X_{L(B)}$	Valeur de x correspondant à la limite inférieure de l'intervalle de confiance de θ_B
$X_{L(A)}$	Valeur de x correspondant à la limite inférieure de l'intervalle de confiance de θ_A
Δ_B	Limite inférieure de l'intervalle de confiance de θ_B
Δ_A	Limite inférieure de l'intervalle de confiance de θ_A
$HIC_{B(c)}$	Intervalle de division par deux d'un MIE candidat à un instant égal à τ_c
s_D^2	Variance associée à la différence entre les valeurs de la moyenne de y pour les deux matériaux
n_D	Degrés de liberté de s_D^2
υ_A, υ_B	Logarithmes des durées moyennes des plus longues jusqu'à la fin de vie pour les matériaux A et B
b_r	Variable intermédiaire: valeur ajustée de b pour le calcul de l'intervalle de confiance de la température
s_r	Variable intermédiaire: valeur ajustée de s pour le calcul de l'intervalle de confiance de la température

3.3 Objectifs de la détermination de RTE

L'objectif de la détermination est comme suit.

a) Exploiter une relation supposée exister entre l'endurance thermique (avec un critère d'essai approprié pour le vieillissement) et les performances en service, et utiliser ce résultat afin de prédire une valeur pour une évaluation préliminaire de la température en service d'un matériau pour lequel l'expérience en service est relativement faible (par comparaison avec un MIE de référence connu, voir les Articles 4 et 5).

NOTE Dans la majorité des cas, cela impliquera une extrapolation sur une durée plus longue et/ou une température plus basse que pour les données expérimentales. Il convient que cette extrapolation soit minimale, par un choix approprié des températures et des durées de vieillissement, car l'incertitude des résultats augmente rapidement avec l'extrapolation. Cependant, même s'il n'y a pas d'extrapolation, l'incertitude reste finie compte tenu des variances des données expérimentales et des erreurs expérimentales.

b) Améliorer la précision d'une détermination d'endurance thermique par diminution des erreurs systématiques dans le processus de vieillissement. Si, après vieillissement, les résultats pour le MIE de référence sont considérés comme très différents d'une expérience précédente, cela peut indiquer des variations dans le matériau ou le matériel. Cela peut être vérifié et éventuellement corrigé. Dans tous les cas, le vieillissement simultané du matériau de référence et du matériau candidat compensera au moins partiellement les variations systématiques. Les procédures statistiques à utiliser pour évaluer la signification des variations sont rappelées dans l'Annexe A.

c) Fournir des instructions pour l'affectation d'une classe thermique à un MIE.

4 Procédures expérimentales

4.1 Sélection d'un MIE de référence

L'exigence initiale pour le MIE de référence est qu'il ait un indice d'endurance thermique connu (ATE) pour l'application à l'étude. L'indice d'endurance thermique, s'il est déterminé

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

par une procédure RTE, est de préférence étayé par une expérience en service réelle (voir l'Annexe D).

Les mécanismes de vieillissement attendus des deux matériaux et leur vitesse d'évolution doivent être similaires et doivent correspondre à l'application.

4.2 Choix d'un essai de diagnostic pour l'importance du vieillissement

L'essai de diagnostic doit être un de ceux qui sont considérés comme adaptés à l'application pour laquelle la RTE est requise. Le même essai doit être appliqué à la fois au MIE de référence et au MIE candidat.

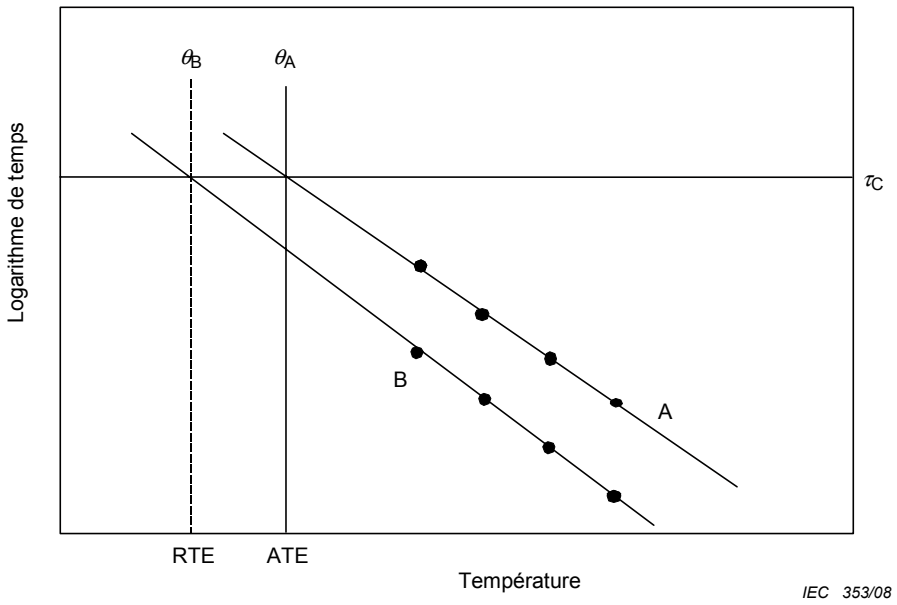
4.3 Procédures de vieillissement

Les nombres et les types d'éprouvettes de chaque matériau, ainsi que les températures de vieillissement et les durées, doivent être conformes aux exigences de la CEI 60216-1 (5.3.2, 5.4 et premier alinéa de 5.5). Pour chaque température de vieillissement, la charge de l'étuve doit être fonction du nombre approprié d'éprouvettes correspondant aux deux matériaux dans la même étuve. Les éprouvettes doivent être uniformément réparties dans l'étuve de manière à éviter toute différence systématique entre les conditions de vieillissement appliquées aux éprouvettes correspondant aux deux matériaux. Il est important que les éprouvettes des deux matériaux soient vieillies simultanément à au moins trois des températures destinées à faire partie des calculs.

NOTE Par exemple, tandis que les données représentées à la Figure 1 pourraient être acceptables pour les analyses, à partir des données représentées par la Figure 2, le groupe des températures les plus basses du MIE candidat et le groupe des températures les plus élevées de la référence ne peuvent pas être inclus, car dans chaque cas, le groupe d'éprouvettes est constitué d'un seul matériau ou un des deux matériaux n'a pas atteint le point limite choisi pendant la durée de l'essai.

Si, après avoir réalisé le vieillissement aux températures choisies, les résultats de l'un des deux matériaux ne satisfont pas aux exigences de 6.1 b) de la présente norme, un autre groupe d'éprouvettes doit être vieilli, dans la même étuve, à une température appropriée. Ce groupe doit de nouveau être constitué du nombre et du type requis d'éprouvettes provenant des deux matériaux.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

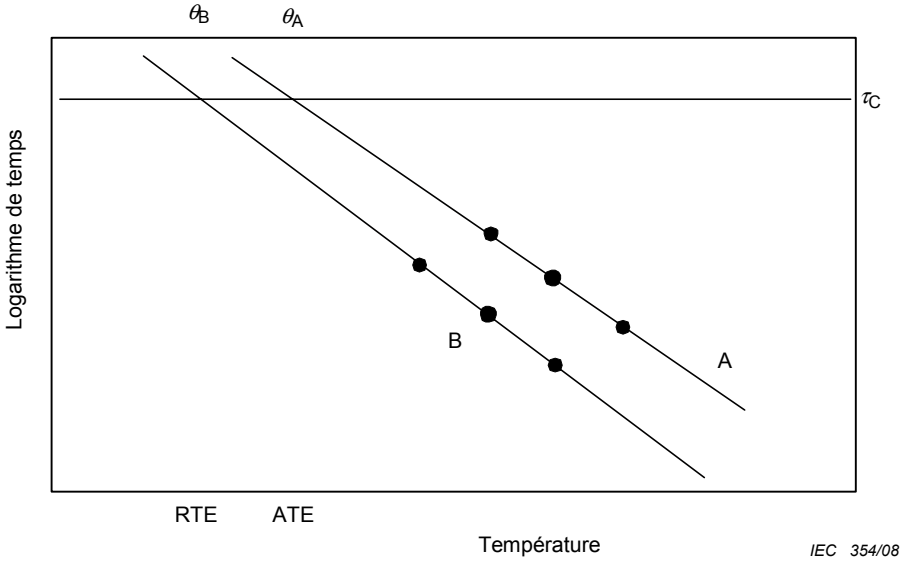


Légende

A = MIE de référence

B = MIE candidat

Figure 1 – Graphique d'endurance thermique



Légende

A = MIE de référence

B = MIE candidat

NOTE Les éprouvettes des deux matériaux ne sont pas vieillies simultanément à au moins trois des températures.

Figure 2 – Graphique d'endurance thermique inacceptable

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5 Procédures de calcul

5.1 Données d'endurance thermique – Calcul des paramètres intermédiaires

Le calcul des droites d'endurance thermique doit être fait conformément aux instructions de la CEI 60216-3.

Les paramètres d'entrée donnés au Tableau 1 suivant sont nécessaires pour calculer la RTE correspondante, et il convient qu'ils soient notés (chacun des symboles peut avoir un indice inférieur A pour le MIE de référence ou un indice inférieur B pour le MIE candidat).

Tableau 1 – Paramètres d'entrée pour les calculs concernant la RTE

Paramètre	Symbole dans la CEI 60216-3	Equation dans la CEI 60216-3	Symbole dans la CEI 60216-5	
Pente de la droite de régression	b	(33)	b_A	b_B
Intersection avec la droite de régression	a	(34)	a_A	a_B
Moyenne pondérée des valeurs de x	$\bar{x}$	(26)	$\bar{x}_A$	$\bar{x}_B$
Moment centré d'ordre 2 des valeurs de x	$\mu_2(x)$	(31)	$\mu_{2(A)}$	$\mu_{2(B)}$
Moyenne pondérée des valeurs de y	$\bar{y}$	(27)	$\bar{y}_A$	$\bar{y}_B$
Variance des valeurs de y	s^2	(41)	s_A^2	s_B^2
Nombre de valeurs de y	N	(25)	n_A	n_B
Intervalle de divisions par deux	HIC	(53)	–	$HIC_{B(c)}$
Logarithme de la durée moyenne la plus grande jusqu'à la fin de vie	$\bar{y}_k$	–	υ_A	υ_B
Limite de l'intervalle de confiance inférieur de θ	$\hat{\vartheta}_c$	(50)	$\theta_{c(A)}$	$\theta_{c(B)}$
NOTE Si les calculs de la CEI 60216-3 sont effectués avec le programme de calcul recommandé, il convient que des sous-programmes soient inclus pour enregistrer les paramètres dans un fichier de données qui peut être rappelé pour effectuer ces calculs-ci. Comme alternative, les valeurs de $\theta_{c(A)}$ et de $\theta_{c(B)}$ peuvent être directement calculées dans le programme.				

Le résultat de l'essai de linéarité (CEI 60216-3, 6.3.2) est également nécessaire.

5.2 Calcul de la RTE

Le calcul des coefficients des équations d'endurance thermique doit être fait à la fois pour le MIE de référence et le matériau candidat, conformément aux instructions données en 6.1 et 6.2 de la CEI 60216-3 (voir 5.1 de la présente norme). A partir de ces coefficients, les valeurs de τ_c and θ_B doivent être calculées comme indiqué ci-dessous (voir également la Figure 1).

a) A partir des coefficients de régression du MIE de référence, calculer la durée τ_c correspondant à son ATE:

$$\ln \tau_c = a_A + \frac{b_A}{(\theta_A + \Theta_0)} \quad (1)$$

b) A partir des coefficients de régression du MIE candidat, calculer la température correspondant à la durée τ_c :

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

$$\theta_B = \frac{b_B}{[\ln(\tau_c) - a_B]} - \Theta_0 \quad (2)$$

La RTE requise est égale à la valeur de θ_B exprimée en degrés Celsius.

5.3 Essais statistiques et numériques

5.3.1 Essais de la CEI 60216-3

Les essais statistiques et numériques de la CEI 60216-3 doivent être réalisés avant les calculs de la présente norme, et leurs résultats doivent être utilisés en compilant le rapport indiqué à l'Article 6.

5.3.2 Précision du temps de corrélation

Si un MIE de référence a été essayé précédemment, avec le même essai de diagnostic et la même ATE, il convient de comparer les valeurs de τ_c en utilisant l'essai t de «Student» pour la différence des deux moyennes. Une différence notable peut impliquer une modification du MIE de référence lui-même, ou une modification dans l'étuve ou une modification de l'appareillage d'essai. Il convient de rechercher et de noter la cause.

Les procédures statistiques pour évaluer la signification des différences trouvées sont rappelées dans l'Annexe A.

5.3.3 Intervalle de confiance inférieur de la RTE

La limite inférieure de confiance de la RTE est calculée à partir des limites inférieures de confiance des estimations de température qui sont égales à θ_A et θ_B (CEI 60216-3, 6.3.3 b), Équations (46) à (50)).

La limite inférieure de confiance de θ_B, $\theta_{c(B)}$, est calculée comme cela est indiqué dans la CEI 60216-3, 6.3.3 b), pour un temps égal à τ_c et soustrait de θ_B pour donner l'intervalle de confiance Δ_B.

$$X_{L(B)} = \bar{x}_B + \frac{(Y - \bar{y}_B)}{b_r} + \frac{t\, s_r}{b_r} \quad (3)$$

$$Y = \ln \tau_c \quad ; \quad \hat{X}_B = (Y - a_B)/b_B \quad (4)$$

$$\text{où } b_r = b_B - \frac{t^2 s_B^2}{b_B\, \mu_{2(B)}} \quad (5)$$

$$s_r^2 = s_B^2 \left(\frac{b_r}{b_B} + \frac{(\hat{X} - \bar{x}_B)^2}{\mu_{2(B)}} \right) \quad (6)$$

où t est la valeur du paramètre t de «Student» pour n_B degrés de liberté et pour un niveau de signification de 0,05 (voir le Tableau B.3) ;

$\mu_{2(B)}$ est le moment centré d'ordre 2 des valeurs de x:

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

$$\mu_{2(B)} = \frac{1}{n_B} \sum_{i=1}^{k} n_{i(B)} \left(x_{i(B)} - \bar{x}_{(B)} \right)^2 \quad (7)$$

(voir la CEI 60216-3, 6.2.2, pour les détails).

La limite inférieure de confiance de θ_A, $\theta_{c(A)}$ est calculée comme précédemment pour une durée égale à τ_c, et soustraite de θ_A pour donner l'intervalle de confiance Δ_A.

L'intervalle inférieur de confiance de la RTE, Δ_R, est alors égal à la somme vectorielle (vecteur orthogonal) des deux intervalles précédents:

$$\Delta_R = \sqrt{\left(\Delta_A^2 + \Delta_B^2\right)} \quad (8)$$

5.3.4 Extrapolation

L'extrapolation requise pour estimer le temps de corrélation est calculée pour les deux MIE de référence et candidat comme étant la différence entre le logarithme du temps de corrélation et la plus grande moyenne des logarithmes des temps de vieillissement jusqu'à la fin de vie (υ_A ou υ_B). L'extrapolation requise est la plus grande de ces deux valeurs.

6 Rapport

6.1 Résultats des essais statistiques et numériques

Les critères suivants s'appliquent.

a) Linéarité de la relation d'endurance thermique et des intervalles de confiance des résultats de TI des MIE de référence et candidat (voir la CEI 60216-3, paragraphes 6.3.2 et 6.3.3) qui doivent satisfaire aux exigences de la CEI 60216-3, paragraphes 7.3.1 et 7.3.2.

b) Extrapolation au temps de corrélation (voir 5.3.4 ci-dessus): l'extrapolation exprimée comme le rapport entre le temps de corrélation et le temps de vieillissement moyen le plus important doit être inférieur à 4.

c) Intervalle inférieur de confiance de la RTE (voir 5.3.3 ci-dessus): La valeur de Δ_R doit être inférieure à l'intervalle de division par deux ($HIC_{B(c)}$) du MIE candidat, pour une durée égale au temps de corrélation (voir la CEI 60216-3, 7.1).

$$HIC_{B(c)} = b_B \left[\frac{1}{\left((\ln \tau_c / 2) - a_B \right)} - \frac{1}{\left(\ln \tau_c - a_B \right)} \right] \quad (9)$$

6.2 Résultats

Les résultats doivent être déterminés à partir des calculs des paragraphes 5.2 et 5.3.3, comme suit.

a) Si les trois critères d'essai (voir 6.1) sont satisfaits, le résultat doit correspondre à la valeur de la RTE. Le résultat doit être noté dans le format: "RTE conformément à la CEI 60216-5 = xxx"

b) Si l'un des critères d'essai n'est pas satisfait, le résultat doit être la limite inférieure de confiance à 95 % de la RTE. Le résultat doit être noté dans le format: "Limite inférieure de confiance à 95 % de la RTE = xxx"

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

c) Si deux des critères ou plus ne sont pas satisfaits, un résultat conforme aux exigences de la CEI 60216-5 ne peut pas être noté. Le résultat peut être noté dans le format: "RTE = xxx (Résultats non validés par l'analyse statistique)"

6.3 Rapport

Le rapport doit comprendre ce qui suit:

a) le résultat

b) l'identification du MIE de référence et de son ATE (voir l'Annexe D) ;

c) l'essai de diagnostic utilisé et la fin de vie ;

d) les rapports d'endurance thermique conformément à la CEI 60216-1 pour les MIE de référence et candidat.

e) le détail de l'échec de la validation statistique pour un résultat de la catégorie 6.2 c).

7 Essais de matériau par vieillissement thermique de courte durée

Il y a souvent besoin d'essais de vieillissement thermique de courte durée, par exemple pour comparer les performances des matériaux ayant subi de légères modifications chimiques par rapport à un MIE de référence connu, ou au cours d'essais de contrôle de qualité d'un isolant contenant des constituants antioxydants, pour lesquels le vieillissement à une température assignée du matériau pendant une durée de quelques milliers d'heures pourrait être utilisée.

L'interprétation de tels essais peut être quelque peu difficile, en particulier si le vieillissement se fait à une seule température, avec mesures de propriétés, après un seul temps d'exposition déterminé. L'absence d'essais pour satisfaire à un modèle cinétique chimique conduit à une responsabilité pour des erreurs systématiques provoquées par les modifications du matériel ou du matériau.

Il est recommandé que dans de tels cas un MIE de référence de type et de caractéristiques similaires au matériau d'essai soit vieilli simultanément et essayé après le même temps. Une analyse similaire à celle de l'Annexe A peut alors être appliquée aux deux ensembles de caractéristiques pour établir s'il y a des différences importantes entre

a) le MIE candidat et le MIE de référence, ou

b) les valeurs de l'essai en cours du MIE de référence et les anciennes valeurs obtenues sur le même matériau.

Dans cette analyse, s_1^2 et s_2^2 sont les variances des groupes de propriétés après vieillissement à la température d'essai; $\bar{y}_1$ et $\bar{y}_2$ sont les moyennes de ces groupes (voir les Équations (A.1) à (A.4)).

Sauf spécification contraire, on doit réaliser l'essai de différence significative à un niveau de 0,05 (voir Tableau B.1).

Si des différences importantes ne sont pas constatées, il est possible de supposer que les performances d'endurance thermique des deux matériaux en comparaison sont les mêmes. Si des différences importantes sont constatées dans le cas a) ci-dessus, il est vraisemblable que les performances du MIE candidat ne seront pas les mêmes que celles du MIE de référence. Si des différences importantes sont constatées dans le cas b) ci-dessus, il est alors vraisemblable que les conditions de vieillissement diffèrent d'une certaine façon de celles utilisées à l'origine: il convient alors de les vérifier et de déterminer leur cause.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

8 Classification de l'isolement

Si requis, le MIE candidat peut être affecté à une classe thermique d'isolation conformément au Tableau B.1.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexe A
(informative)

Répétabilité du temps de corrélation

A.0 Vue d'ensemble

Si un matériau de contrôle a été essayé précédemment, il convient de comparer les valeurs de τ_c. Une différence notable peut impliquer une modification du MIE de référence lui-même, ou éventuellement, une modification dans l'étuve ou une modification de l'appareillage d'essai. Il convient de rechercher et de noter la cause.

La comparaison est effectuée en utilisant l'essai t de «Student» pour la différence des deux moyennes, par les procédures qui suivent. Les suffixes 1 et 2 font référence aux deux ensembles de données. Dans les équations, les valeurs de $\bar{y}_1$ et $\bar{y}_2$ sont les logarithmes des deux valeurs du temps de corrélation.

A.1 Essai F pour l'égalité des variances

Les variances des valeurs y pour les MIE de référence dans la présente détermination et dans la précédente (s_1^2 and s_2^2) doivent être calculées conformément aux instructions de la CEI 60216-3 (6.3.2, Equations (41) ou (42)). L'équivalence de ce rapport est alors vérifiée par l'essai F avec un niveau de signification de 0,05, des degrés de liberté n_1-2 et n_2-2 (voir le Tableau B.1).

NOTE Les symboles s_1^2 et s_2^2 se rapportent ici aux estimations de la variance pour le matériau lors de précédents essais 1 et 2, et non pas à l'intérieur ou entre des classes comme dans la CEI 60216-3, Équations (41) et (42).

A.2 Erreur type de la différence de deux moyennes

Les valeurs de la variance sont combinées en utilisant les Équations (A.1) et (A.2) si les valeurs ne sont pas très différentes:

$$s_D^2 = \frac{s_1^2\,(n_1-1)+s_2^2\,(n_2-1)}{(n_1+n_2-2)}\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right) \qquad \text{(A.1)}$$

$$n_D = (n_1+n_2-2) \qquad \text{(A.2)}$$

Si les valeurs de la variance sont très différentes, alors les Équations (A.3) et (A.4) doivent être utilisées. Dans ce cas, la valeur n_D peut ne pas être un entier. La valeur entière la plus proche (valeur arrondie vers le haut ou le bas selon ce qui est approprié) doit alors être utilisée dans les calculs qui suivent.

$$s_D^2 = \frac{s_1^2}{n_1}+\frac{s_2^2}{n_2} \qquad \text{(A.3)}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

$$n_{\mathrm{D}} = \frac{\left(s_{\mathrm{D}}^2\right)^2}{\dfrac{\left(\dfrac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \dfrac{\left(\dfrac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} \tag{A.4}$$

La racine carrée de la valeur de s_{D}^2 est l'erreur type, s, de la différence des moyennes générales des valeurs de y.

NOTE Si les valeurs de n_1 et n_2 sont égales, les Équations (A.1) et (A.3) deviennent identiques.

A.3 Essai *t* de «Student» pour la différence de deux moyennes

Si deux estimations d'une seule valeur moyenne (qui dans ce cas comprend les estimations par régression linéaire) sont obtenues à partir de deux ensembles distincts de données, et si l'on s'attend à ce que la valeur réelle soit la même, leur équivalence peut être vérifiée par l'essai t de «Student». Le principe de cet essai est de calculer le rapport entre la différence des estimations moyennes et l'erreur type de cette différence. Les variances des deux ensembles de données sont combinées de la même manière que les variances dans l'Article A.2, et l'erreur type est calculée.

La valeur de t est le rapport entre la différence des moyennes et l'erreur type:

$$t = \frac{\left(\bar{y}_1 - \bar{y}_2\right)}{\sqrt{s_{\mathrm{D}}^2}} \tag{A.5}$$

Le nombre de degrés de liberté associé est n_{D} ou l'entier le plus proche. Si la valeur de t est supérieure à cette valeur pour un seuil de signification de 0,05, donnée dans le Tableau B.2, la différence est considérée comme significative et il convient d'en vérifier la cause.

Pour atteindre l'objectif de 5.3.2, dans les calculs des Équations (A.1) à (A.5), les valeurs de s_1^2 and s_2^2 sont obtenues en utilisant l'Équation (45) de la CEI 60216-3 (6.3.3), c'est-à-dire:

$$s_Y^2 = \frac{s^2}{N}\left[1 + \frac{\left(X - \bar{x}\right)^2}{\mu_2(x)}\right]$$

$$s_1^2 = \left|N\, s_Y^2\right|_1 \qquad \text{et} \qquad s_2^2 = \left|N\, s_Y^2\right|_2 \tag{A.6}$$

Les valeurs de $\bar{y}_1$ et $\bar{y}_2$ sont les logarithmes des deux valeurs de τ_{c}.

A.4 Combinaison des données

Si les deux résultats du temps de corrélation et si les deux valeurs de la variance ne sont pas très différents, une estimation plus précise du logarithme du temps de corrélation peut être obtenue par fusion des deux ensembles de données:

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

$$\bar{y} = \frac{\left(n_1 \bar{y}_1 + n_2 \bar{y}_2\right)}{\left(n_1 + n_2\right)} \tag{A.7}$$

$$s^2 = \frac{s_1^2\left(n_1 - 1\right) + s_2^2\left(n_2 - 1\right)}{\left(n_1 + n_2 - 2\right)} \tag{A.8}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexe B
(informative)

Attribution des classes thermiques

Le Tableau B.1 fait correspondre l'affectation à une classe thermique, quand elle est requise, à la valeur de l'ATE/RTE conformément à la CEI 60085.

Tableau B.1 – Equivalences des classes thermiques pour matériau isolant

	ATE/RTE			Classe d'isolement		Lettre d'identification
	°C			°C		
	≥90	<105		90		Y
	≥105	<120		105		A
	≥120	<130		120		E
	≥130	<155		130		B
	≥155	<180		155		F
	≥180	<200		180		H
	≥200	<220		200		N
	≥220	<250		220		R
	≥250	<275		250		

a Si on le souhaite, la lettre d'identification peut être ajoutée entre parenthèses, par exemple Classe 180 (H). Lorsque l'espace est un facteur, comme par exemple sur une plaque signalétique, le TC produit peut choisir d'utiliser uniquement la lettre d'identification.

b Les désignations de classes thermiques supérieures à 250 doivent augmenter par incréments de 25 et être désignées en conséquence.

Les Tableaux B.2 et B.3 donnent les valeurs de F et de t de «Student» pour des niveaux de signification de 0,05 et 0,005.

NOTE 1 Le seuil de signification, p, est égal à 1-P, où P est la probabilité que la variable stochastique (F ou t) soit inférieure à la valeur tabulée.

Les colonnes du tableau avec F (Tableau B.2) représentent le nombre de degrés de liberté du numérateur, et les rangs représentent le nombre de degrés de liberté du dénominateur.

Les colonnes du tableau avec t (Tableau B.3) représentent le nombre de degrés de liberté, et les rangs représentent le niveau de signification (p).

NOTE 2 Les tableaux comprennent les niveaux de signification de 0,05 et 0,005 au cas où ils seraient nécessaires à n'importe quel moment. Pour les besoins présents, les valeurs de 0,005 peuvent être supprimées, mais elles sont enregistrées pour un usage futur.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Tableau B.2 – Fonction F; p = 0,05

	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	30	40	50	100	500
10	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	2,828	2,812	2,798	2,785	2,774	2,730	2,700	2,661	2,637	2,588	2,548
11	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	2,701	2,685	2,671	2,658	2,646	2,601	2,570	2,531	2,507	2,457	2,415
12	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	2,599	2,583	2,568	2,555	2,544	2,498	2,466	2,426	2,401	2,350	2,307
13	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	2,515	2,499	2,484	2,471	2,459	2,412	2,380	2,339	2,314	2,261	2,218
14	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	2,445	2,428	2,413	2,400	2,388	2,341	2,308	2,266	2,241	2,187	2,142
15	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	2,385	2,368	2,353	2,340	2,328	2,280	2,247	2,204	2,178	2,123	2,078
16	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	2,333	2,317	2,302	2,288	2,276	2,227	2,194	2,151	2,124	2,068	2,022
17	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	2,289	2,272	2,257	2,243	2,230	2,181	2,148	2,104	2,077	2,020	1,973
18	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269	2,250	2,233	2,217	2,203	2,191	2,141	2,107	2,063	2,035	1,978	1,929
19	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234	2,215	2,198	2,182	2,168	2,155	2,106	2,071	2,026	1,999	1,940	1,891
20	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	2,184	2,167	2,151	2,137	2,124	2,074	2,039	1,994	1,966	1,907	1,856
25	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	2,069	2,051	2,035	2,021	2,007	1,955	1,919	1,872	1,842	1,779	1,725
30	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	1,995	1,976	1,960	1,945	1,932	1,878	1,841	1,792	1,761	1,695	1,637
40	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	1,904	1,885	1,868	1,853	1,839	1,783	1,744	1,693	1,660	1,589	1,526
50	2,026	1,986	1,952	1,921	1,895	1,871	1,850	1,831	1,814	1,798	1,784	1,727	1,687	1,634	1,599	1,525	1,457
100	1,927	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768	1,746	1,726	1,708	1,691	1,676	1,616	1,573	1,515	1,477	1,392	1,308
500	1,850	1,808	1,772	1,740	1,712	1,686	1,664	1,643	1,625	1,607	1,592	1,528	1,482	1,419	1,376	1,275	1,159

Fonction F; p = 0,005

	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	30	40	50	100	500
10	5,847	5,746	5,661	5,589	5,526	5,471	5,422	5,379	5,340	5,305	5,274	5,153	5,071	4,966	4,902	4,772	4,666
11	5,418	5,320	5,236	5,165	5,103	5,049	5,001	4,959	4,921	4,886	4,855	4,736	4,654	4,551	4,488	4,359	4,252
12	5,085	4,988	4,906	4,836	4,775	4,721	4,674	4,632	4,595	4,561	4,530	4,412	4,331	4,228	4,165	4,037	3,931
13	4,820	4,724	4,643	4,573	4,513	4,460	4,413	4,372	4,334	4,301	4,270	4,153	4,073	3,970	3,908	3,780	3,674
14	4,603	4,508	4,428	4,359	4,299	4,247	4,200	4,159	4,122	4,089	4,059	3,942	3,862	3,760	3,698	3,569	3,463
15	4,424	4,329	4,250	4,181	4,122	4,070	4,024	3,983	3,946	3,913	3,883	3,766	3,687	3,585	3,523	3,394	3,287
16	4,272	4,179	4,099	4,031	3,972	3,920	3,875	3,834	3,797	3,764	3,734	3,618	3,539	3,437	3,375	3,246	3,139
17	4,142	4,050	3,971	3,903	3,844	3,793	3,747	3,707	3,670	3,637	3,607	3,492	3,412	3,311	3,248	3,119	3,012
18	4,030	3,938	3,860	3,793	3,734	3,683	3,637	3,597	3,560	3,527	3,498	3,382	3,303	3,201	3,139	3,009	2,901
19	3,933	3,841	3,763	3,696	3,638	3,587	3,541	3,501	3,465	3,432	3,402	3,287	3,208	3,106	3,043	2,913	2,804
20	3,847	3,756	3,678	3,611	3,553	3,502	3,457	3,416	3,380	3,347	3,318	3,203	3,123	3,022	2,959	2,828	2,719
25	3,537	3,447	3,370	3,304	3,247	3,196	3,151	3,111	3,075	3,043	3,013	2,898	2,819	2,716	2,652	2,519	2,406
30	3,344	3,255	3,179	3,113	3,056	3,006	2,961	2,921	2,885	2,853	2,823	2,708	2,628	2,524	2,459	2,323	2,207
40	3,117	3,028	2,953	2,888	2,831	2,781	2,737	2,697	2,661	2,628	2,598	2,482	2,401	2,296	2,230	2,088	1,965
50	2,988	2,900	2,825	2,760	2,703	2,653	2,609	2,569	2,533	2,500	2,470	2,353	2,272	2,164	2,097	1,951	1,821
100	2,744	2,657	2,583	2,518	2,461	2,411	2,367	2,326	2,290	2,257	2,227	2,108	2,024	1,912	1,840	1,681	1,529
500	2,562	2,476	2,402	2,337	2,281	2,230	2,185	2,145	2,108	2,075	2,044	1,922	1,835	1,717	1,640	1,460	1,260

Tableau B.3 – Fonction t

	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	30	40	50	100	500
p = 0,05	1,812	1,796	1,782	1,771	1,761	1,753	1,746	1,740	1,734	1,729	1,725	1,708	1,697	1,684	1,676	1,660	1,648
p = 0,005	3,169	3,106	3,055	3,012	2,977	2,947	2,921	2,898	2,878	2,861	2,845	2,787	2,750	2,704	2,678	2,626	2,586

Annexe C
(informative)

Programme informatique

La présente norme est accompagnée d'un CD contenant des programmes informatiques pour exécuter les calculs appropriés. Le programme exécutable et les codes sources sont tous deux fournis. En plus, deux fichiers de données (reference.dta et candidate.dta) en vue des essais et un fichier "read.me" sont fournis.

Le programme "RTE.exe" et ses codes sources "RTE.bas" sont des versions améliorées du programme "TI.bas" fourni dans la CEI 60216-3 (Annexe E) et fonctionnent sous DOS ou DOS Windows. Tout comme le RTE et les limites de confiance des calculs statistiques, le résultat TI et ses valeurs associées sont notées.

Il convient de suivre la procédure suivante:

a) En utilisant le programme "Entry.bas"
   1) Entrer les données du MIE de référence et sauvegarder dans un fichier au nom adapté
   2) Entrer les données du MIE candidat et sauvegarder dans un fichier au nom adapté (différent).
b) En utilisant le programme "RTE.bas"
   1) Rappeler et exécuter le fichier de données du matériau de référence.
      i. Sélectionner "Calculate time for a temperature" (Calcul de durée en fonction d'une température): entrer la valeur ATE. Noter le temps affiché (temps de corrélation).
      ii. Sélectionner "Calculate temperature for a time" (Calcul de température en fonction d'une durée): entrer le temps de corrélation.
      iii. Noter la température calculée (égale à ATE) et la limite de confiance inférieure.
      iv. Calculer la différence (intervalle de confiance).
   2) Rappeler et exécuter le fichier de données du matériau candidat
      i. Sélectionner "Calculate temperature for a time" (Calcul de température en fonction d'une durée): entrer le temps de corrélation.
      ii. Noter la température calculée (égale à RTE) et la limite de confiance inférieure.
      iii. Calculer la différence (intervalle de confiance).
c) Calculer les carrés des deux différences, la somme de ces carrés, puis la racine carrée de cette somme. C'est l'intervalle de confiance de la RTE.

Il convient de noter les résultats de calculs sur un matériau en vue des essais spécifiés dans l'Article 6.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexe D
(informative)

Sélection du MIE de référence

D.0 Vue d'ensemble

Il convient que le MIE de référence soit choisi parmi les matériaux qui comportent des caractéristiques d'endurance thermique connues et stables, de préférence déduites de l'expérience en service. Il convient que les mécanismes de vieillissement attendus des deux matériaux et leur vitesse d'évolution soient similaires et correspondent à l'application.

Il convient que les détails de l'expérience en service et la base pour la sélection du MIE de référence soient présentés aux parties concernées qui acceptent et utilisent le MIE de référence pour développer la RTE d'un MIE candidat.

D.1 Désignation d'un MIE de référence

La désignation du MIE de référence doit être spécifiée selon ce document.

Celui qui réalise la sélection de la MIE de référence doit expliciter:

a) l'application si elle est disponible;
b) l'expérience en service, si elle est disponible;
c) les critères pour la sélection des propriétés et des valeurs en fin de vie;
d) les limites d'utilisation concernant le MIE de référence, si elles sont disponibles.

D.2 Eléments d'information concernant le MIE de référence

Les points suivants doivent être consignés:

a) Identification du matériau sélectionné
   1) Le nom du fabricant
   2) Le nom, la marque et symbole du produit
   3) Le type générique du matériau
   4) La composition par ex. additifs. matériaux de renforcement, de remplissage, d'imprégnation, combinés (ou stratifiés), etc.
   5) Type de traitement (comme le moulage, l'extrusion, le coulage, la stratification, l'enduction, etc.)
b) Expérience en service du MIE de référence dans le matériel électrique si disponible
   1) Rôle du matériau isolant (comme l'isolation de la paroi principale, l'isolation entre spires, l'isolation entre circuits, etc.)
   2) Conditions du dispositif électrique (usage exclusif, combinaison avec d'autres matériaux)
   3) Epaisseur minimale du MIE de référence là où il remplit sa fonction
c) Les conditions de fonctionnement et la durée de vie du matériel électrique si disponible, là où le MIE de référence a été utilisé
   1) Le genre de matériel électrique (par exemple, câble, générateur, moteur, transformateur, bobine d'inductance, etc.)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

2) Les conditions d'environnement, s'il existe des particularités (comme la présence de gaz ou de liquide, d'atmosphère corrosive, d'humidité, de produits chimiques, de rayonnements)

3) Tension assignée, fréquence, puissance

4) Conditions de fonctionnement (par exemple, permanent, intermittent, de courte durée, autres)

5) Température maximale dans le système d'isolation ou la classe thermique du matériel électrique

6) Durée de fonctionnement observée en pratique ou durée de fonctionnement

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Bibliographie

CEI 60085: *Isolation électrique – Évaluation et désignation thermiques*

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
P.O. 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

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale