

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Electrical insulating materials – Thermal endurance properties –
Part 5: Determination of relative temperature index (RTI) of an insulating material**

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



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Electrical insulating materials – Thermal endurance properties –
Part 5: Determination of relative temperature index (RTI) of an insulating material**

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 19.020; 29.020; 29.035.01

ISBN 978-2-8322-6014-2

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD	4
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms, definitions, symbols and units	7
3.1 Terms and definitions	7
3.2 Symbols and units	8
4 Objectives of RTI determination	10
5 Experimental procedures	10
5.1 Selection of reference EIM	10
5.2 Selection of diagnostic test for extent of ageing	10
5.3 Ageing procedures	10
6 Calculation procedures	11
6.1 Thermal endurance data – Calculation of intermediate parameters	11
6.2 Calculation of RTI	12
6.3 Statistical and numerical tests	13
6.3.1 Tests of IEC 60216-3	13
6.3.2 Precision of correlation time	13
6.3.3 Lower confidence interval of RTI	13
6.3.4 Extrapolation	14
7 Results and report	14
7.1 Results of statistical and numerical tests	14
7.2 Results	14
7.3 Report	15
8 Material testing by short-term thermal ageing	15
9 Insulation classification	16
Annex A (informative) Repeatability of correlation time	17
A.1 Overview	17
A.2 <i>F</i> -test for linearity	17
A.3 Standard error of the difference of two means	17
A.4 Student's <i>t</i> -test for difference of two means	18
A.5 Combination of data	19
Annex B (informative) Thermal class assignment	20
Annex C (informative) Computer program	23
C.1 General	23
C.1.1 Overview	23
C.1.2 Convenience program execution	24
C.2 Structure of data files used by the program	25
C.3 Executing the calculation of RTI	26
C.4 Output files and graph	26
Annex D (informative) Selection of the reference EIM	28
D.1 Overview	28
D.2 Designation of reference EIM	28
D.3 Reporting items for reference EIM	28
Bibliography	29

Figure 1 – Thermal endurance graphs.....	11
Figure 2 – Unacceptable thermal endurance graphs	11
Figure C.1 – Shortcut property dialog for program launch	25
Figure C.2 – Thermal endurance graphs	26
Figure C.3 – Example thermal endurance graphs.....	27
Table 1 – Input parameters for the calculations concerning RTI	12
Table B.1 – Thermal class equivalents for insulating material	20
Table B.2 – F -function; $p = 0,05$	21
Table B.3 – t -function.....	22

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-5:2022

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRICAL INSULATING MATERIALS –
THERMAL ENDURANCE PROPERTIES –****Part 5: Determination of relative
temperature index (RTI) 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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60216-5 has been prepared by IEC technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems. It is an International Standard.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2008. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) Annex C “Computer program” has been completely reworked;
- b) in 3.1, the terms “ATE” and “RTE” were replaced by “ATI” and “RTI” to emphasize their reference to an electrical insulating material (EIM).

This standard is to be read in conjunction with IEC 60216-1:2013, IEC 60216-2:2005 and IEC 60216-3:2021.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
112/582/FDIS	112/588/RVD

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

A list of all parts in the IEC 60216 series, published under the general title *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

ELECTRICAL INSULATING MATERIALS – THERMAL ENDURANCE PROPERTIES –

Part 5: Determination of relative temperature index (RTI) of an insulating material

1 Scope

This part of IEC 60216 specifies the experimental and calculation procedures to be used for deriving the relative temperature 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 can 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 can be “censored”, in that measurement of times taken to reach the endpoint 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 electrical insulating material (EIM), based upon the thermal ageing performance.

While the thermal classification of an EIM is not directly related to the thermal classification of an electrical insulation system (EIS), the thermal classification of an EIS follows the same concepts as presented in this part of the 60216 series. The calculation procedures of this standard apply to the determination of the thermal class of an EIS when the thermal stress is the prevailing ageing factor.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 60216-1:2013, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

IEC 60216-2:2005, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 2: Determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Choice of test criteria*

IEC 60216-3:2021, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics*

3 Terms, definitions, symbols and units

3.1 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

3.1.1

electrical insulating material

EIM

material of low electric conductivity, used to separate conducting parts at different electric potentials or to isolate such parts from the surroundings

3.1.2

assessed temperature index

ATI

numerical value of the temperature index in degrees Celsius of the reference EIM

Note 1 to entry: The value of the ATI can vary between applications for the same material.

3.1.3

candidate EIM

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

Note 1 to entry: 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 (derived from service experience or previous RTI or TI evaluation), 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 for RTI

estimated time to endpoint of the reference EIM at a temperature equal to its ATI 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 can be considered to be a member

Note 1 to entry: 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 to entry: This standard is concerned only with means and the difference between two means (see Clause A.3).

3.1.9

standard deviation

square root of the variance of a data group or sub-group

3.1.10

relative temperature index

RTI

determined by test in relation to the thermal performance of a known reference EIM

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 1 to entry: The reference level can, for example, be a mean value (1 parameter) or a line (2 parameters, in this document, 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 $1/(g + \theta_0)$
Y	Variable for statistical analysis equal to $\ln(\tau)$
g	Ageing temperature in determination of RTI
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 ATI ("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 ATI
θ_B	Temperature in degrees Celsius equal to RTI
$\hat{X}_B$	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
v_A, v_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

4 Objectives of RTI 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 5 and 6).

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 the 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.

5 Experimental procedures

5.1 Selection of reference EIM

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

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

5.2 Selection of diagnostic test for extent of ageing

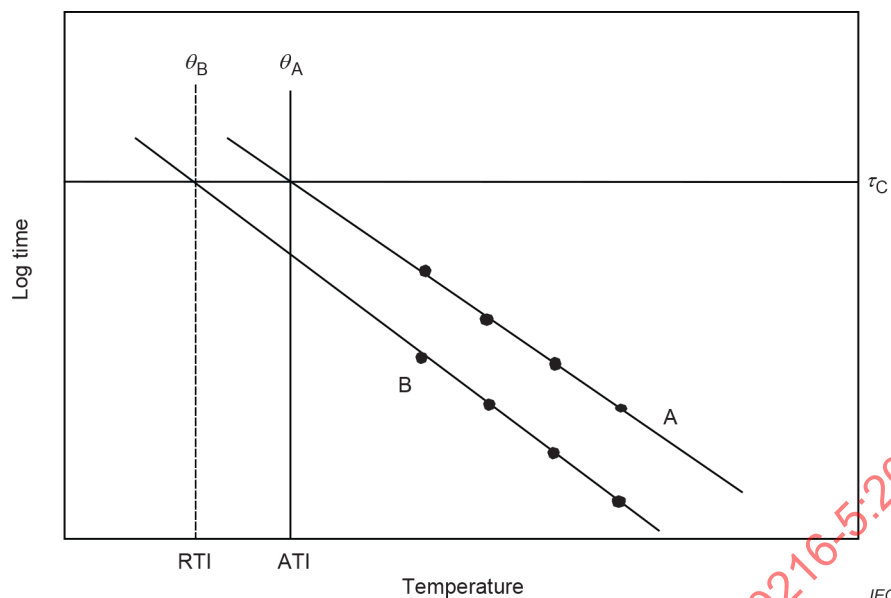
The diagnostic test shall be one considered relevant to the application for which the RTI is required. The same test shall be applied to both reference and candidate EIM.

5.3 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 60216-1:2013, 5.3.2, 5.4 and the first paragraph of 5.5. At each common 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.

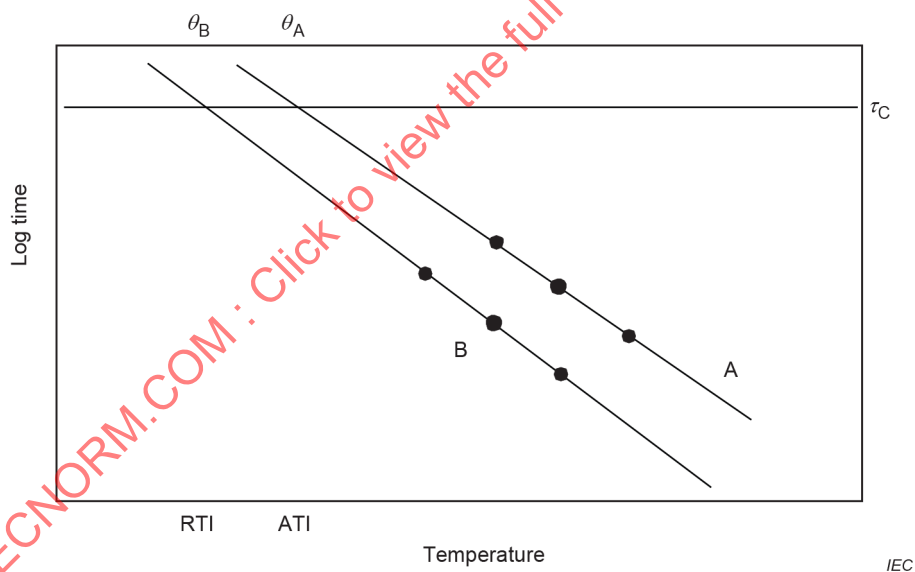
NOTE As an example, while the data represented in Figure 1 would be acceptable for analysis of the data represented by Figure 2, the lowest temperature group of the candidate EIM and the highest temperature group of the reference cannot be included, since in each case, the specimen group is made up of 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 meet the requirements of criteria b) in 7.1 of this document, 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**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**6 Calculation procedures****6.1 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 RTI and should be recorded (each of the symbols may have either subscript A for reference EIM or B for candidate EIM).

Table 1 – Input parameters for the calculations concerning RTI

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 2 nd 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	$\bar{y}_k$	–	ν_A	ν_B
Lower confidence limit of θ	$\hat{\theta}_c$	(50)	$\theta_{c(A)}$	$\theta_{c(B)}$
NOTE If the calculations of IEC 60216-3 are performed by the recommended computer programme of Annex C, the values of $\theta_{c(A)}$ and $\theta_{c(B)}$ may be calculated directly in that program.				

The result of the linearity test (IEC 60216-3:2021, 6.3.2) is also necessary.

6.2 Calculation of RTI

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 60216-3:2021 (see 6.1 of this document). 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 ATL:

$$\ln \tau_c = a_A + \frac{b_A}{(\theta_A + \theta_0)} \quad (1)$$

- 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 RTI is equal to the value of θ_B in degrees Celsius.

6.3 Statistical and numerical tests

6.3.1 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 7.3.

6.3.2 Precision of correlation time

Where a reference EIM has been tested on a previous occasion, with the same diagnostic test and ATI, 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.

6.3.3 Lower confidence interval of RTI

The lower confidence limit of RTI is calculated from the lower confidence limits of temperature estimates equal to θ_A and θ_B (IEC 60216-3:2021, 6.3.3 b), Equations (46) to (50)).

The lower confidence limit of θ_B , $\theta_{c(B)}$, is calculated as in IEC 60216-3:2021, 6.3.3 b) for a time equal to τ_c and subtracted from θ_B to give the confidence interval Δ_B .

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

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

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

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

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:

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

(see IEC 60216-3:2021, 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 RTI, Δ_R , is then equal to the “Pythagorean” (orthogonal) vector sum of the above two intervals:

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

6.3.4 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 (ν_A or ν_B). The extrapolation required is the greater of these two values.

7 Results and report

7.1 Results of statistical and numerical tests

The following criteria apply:

- linearity of thermal endurance relationships and confidence intervals of TI results of both reference and candidate EIMs (see IEC 60216-3:2021, 6.3.2 and 6.3.3) which shall satisfy the requirements of IEC 60216-3, 7.3.1 and 7.3.2;
- extrapolation to the correlation time (see 6.3.4 above): the extrapolation, expressed as the ratio of correlation time to greatest geometric mean ageing time shall be less than 4;
- lower confidence interval of RTI (see 6.3.3 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 60216-3:2021, 7.1).

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

7.2 Results

The results shall be determined from the calculations of 6.2 and 6.3.3 as follows.

- If all three test criteria (see 7.1) are met, the result shall be the value of RTI. The result shall be reported in the format: "RTI according to IEC 60216-5 = xxx" rounded to one full degree Celsius.

- b) If one of the test criteria is not met, the result shall be the lower 95 % confidence limit of RTI. The result shall be reported in the format: "RTI lower 95 % confidence limit = xxx" rounded to one full degree Celsius.
- c) If two or more of the criteria are not met, a result in accordance with the requirements of IEC 60216-5 cannot be reported. The result may be reported in the format: "RTI = xxx. (Result not validated by the statistical analysis)".

7.3 Report

The report shall comprise the following:

- a) the result;
- b) the identification of the reference EIM and its ATI (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 7.2 c).

8 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 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.2).

If significant differences are not found, it can 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.

9 Insulation classification

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-5:2022

Annex A (informative)

Repeatability of correlation time

A.1 Overview

Where a reference EIM has been tested on a previous occasion, the values of τ_c should be compared. A significant difference can 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 suffixes 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.2 F -test for linearity

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 60216-3:2021 [6.3.2, Equation (41) or (42)]. Their ratio is then tested for linearity i.e. 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.2).

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 60216-3:2021, Equations (41) and (42).

A.3 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:

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

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

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.

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

$$n_D = \frac{(s_D^2)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1-1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2-1}} \quad (\text{A.4})$$

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.4 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.3 and the standard error calculated.

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

$$t = \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)}{\sqrt{s_D^2}} \quad (\text{A.5})$$

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.3, the difference is considered to be significant and its cause should be investigated.

For the purposes of 6.3.2, 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 60216-3:2021, 6.3.3, which is:

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

$$s_1^2 = \left| N s_Y^2 \right|_1 \quad \text{and} \quad s_2^2 = \left| N s_Y^2 \right|_2 \quad (\text{A.6})$$

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

A.5 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:

$$\bar{y} = \frac{(n_1 \bar{y}_1 + n_2 \bar{y}_2)}{(n_1 + n_2)} \quad (\text{A.7})$$

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-5:2022

Annex B (informative)

Thermal class assignment

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

Table B.1 – Thermal class equivalents for insulating material

ATI/RTI °C		Thermal class °C	Letter designation
≥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.			

Table B.2 and Table 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 are needed at any time. For present purposes, the 0,005 values can be deleted, but they are on record for future use.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-5:2022

Annex C (informative)

Computer program

C.1 General

C.1.1 Overview

The program supplementing this document as well as IEC 60216-3:2021 and IEC 60216-6:–, is written in the programming language Java¹ and makes use of the JavaFX technology for graphical user interfaces. It is for use in conjunction with a Java Runtime Environment (JRE) from Oracle[®] in version 1.8.101 or later. The JRE is available for download at <https://www.java.com/download> for several operating systems² running on either 32-bit or 64-bit computers.

The package itself is available for download from <https://www.iec.ch/tc112/supportingdocuments>. The downloaded files are stored in the standard unencrypted zip-format. Such file archives can be extracted with any zip tool, see for example <https://download.cnet.com/s/zip-tools/>.

NOTE 1 All hyperlinks can be subjected to change, which is not under control of the authors of this document.

The package consists of the following parts:

- Compiled Java code and 3rd party program libraries:
 - IEC60216fx.jar (main program)
 - IEC60216fx.exe (optional program launcher for Windows)
 - lib/commons-math3-3.6.1 (statistical functions)
 - lib/poi-3.17.jar (Import and Export in OOXML format (*.xlsx))
- Example data files
 - Cenex3.dta – see IEC 60216-3:2021, Table D.1
 - Test2.dta – see IEC 60216-3:2021, Table D.2
 - N3.dst and N3_selected.xlsx – see IEC 60216-3:2021, Table D.3
 - Control.dta – example reference EIM raw data (non-destructive test method)
 - Candidate.dta – example candidate EIM raw data (non-destructive test method)
 - Control.ftd and Control_selected.xlsx – see IEC 60216-6
 - The usage of the deprecated intermediate file formats such as *.int and *.ftc is not supported in the graphical user interface. However, the application programming interface (API) implements methods to read and write these file formats.

¹ Java[®] and Oracle[®] are registered trademarks of Oracle and/or its affiliates. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of the products named. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

² Microsoft Windows[®], Linux[®] and Apple macOS[®] are examples of suitable products available. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of these products.

- Java source code
 - Package: datamodel – class AgingData and subclasses to comprise raw data
 - Package: mathematics – calculate results
 - Package: fxml_gui – the JavaFX graphical user interface
 - Package: ressources – example files as listed above
- Javadoc
 - A number of automatically generated linked html pages for offline usage with a web browser. They describe the classes, constructors and methods of the packages 'datamodel' and 'mathematics' for use by Java programmers. New or modified user interfaces can be developed which use the tested class AgingData to store and evaluate aging data.
- JUnit tests
 - The testing refers to packages 'datamodel' and 'mathematics'. The output of all JUnit tests is compiled in one document named Testing_2017-10-12.pdf.

The IEC60216fx.jar is suitable for direct execution by the JRE. In a terminal window change to the directory or folder, where this file is stored and type <JRE8 root path>\jre\bin\java.exe -jar "IEC60216fx.jar". Thereby, <JRE8 root path> stands for the directory or folder, where the JRE is stored.

NOTE 2 In Windows, the directory separator is a "\", while in Linux and macOS it is a "/".

There are three different ways, how to make the execution of the program more convenient. They are described in C.1.2. The first is the recommended method, because it implies the least system requirements.

C.1.2 Convenience program execution

C.1.2.1 First (and default) method

It is important to know, that Java programs do not need installation/setup in a conventional way. Instead, the JAR files residing in one folder and the JRE residing in another folder just need to be linked together:

- download and decompress the file dist_v100.zip in a folder with write access (e.g. Documents\IEC60216fx\dist);
- download and decompress the JRE in any other folder with write access (e.g. Documents\JRE);
- create a new shortcut on the Desktop
 - a) Command: <JRE8 root path>\jre\bin\java.exe -jar "IEC60216fx.jar"
 - b) Folder Path: <Application root path>\dist.

In MS-Windows (screenshot: Windows 7, English language version), the shortcut properties look like:

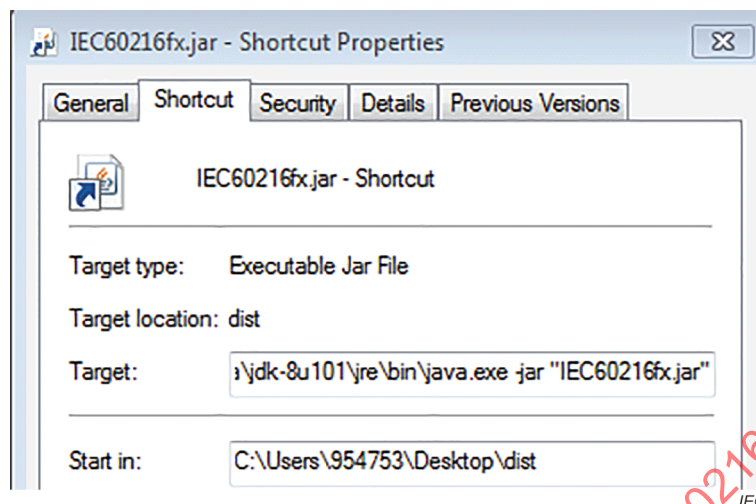


Figure C.1 – Shortcut property dialog for program launch

A double-click on the short-cut launches the application. Likewise, such a shortcut can be created in other operating systems and used for convenience program execution.

C.1.2.2 Second method

The IEC60216fx.exe is provided with the IEC60216fx.jar file in the same zip archive. It is a convenience launcher for MS-Windows, that runs the program directly with a double-click. It requires one of the following:

- a) The JRE version 1.8.101 or later is properly installed (i.e. registered) on the computer.
OR
- b) Administrator privileges are granted: in that case, the launcher will first download and install the appropriate JRE and then run the program. For the second and further launches, Administrator privileges are no longer required, unless the JRE was uninstalled meanwhile.

NOTE If the JRE is installed correctly, a double-click on the IEC60216fx.jar file will also launch the application.

C.1.2.3 Third method

Similarly, a double-click on the file IEC60216fx.html provided with the IEC60216fx.jar in the same zip archive, attempts to launch the program in the default web browser of the system. However, this functionality is blocked in many browsers by default. It needs to be enabled manually in the browser properties and may create a system vulnerability.

NOTE The file IEC60216fx.jnlp is a text file in XML format to configure this functionality.

C.2 Structure of data files used by the program

The required data files and formats are described in IEC 60216-3:2021, Clause E.2. Examples are given in IEC 60216-3:2021, Clause E.3.

C.3 Executing the calculation of RTI

The program allows to open several data files at the same time. In a first step, the separate calculations for the reference and candidate EIM in accordance with IEC 60216-3 shall be made and reports generated. If two such files are opened, the RTI dialogue in the menu gets enabled. It allows to set the candidate and reference EIM and its ATI.

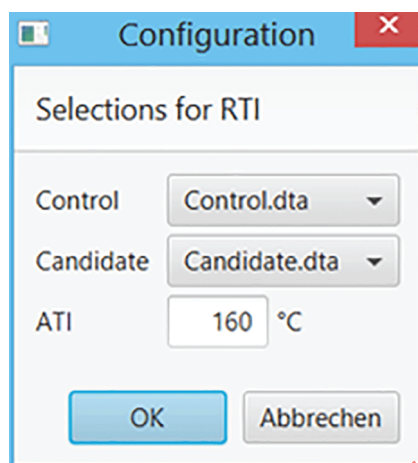


Figure C.2 – Thermal endurance graphs

C.4 Output files and graph

The program generates no further output files. Calculation results are displayed on two different windows:

- Report: a text representation of the calculated results;
- Life Time chart: the thermal endurance graphs.

Each window has a copy button, which can be clicked on or activated by the **Control + C** shortcut. It copies the content of the window into the operating systems clipboard for further usage in other program, e.g. word processors to create a report. Thereby, the content of the report window is copied as text and that of a chart as bitmap graphic.

The example set in Figure C.2 will report the following results:

RTI = 156 °C (F)

ATI = 160 °C (F)

Correlation Time = 24 829 h

Halving Interval = 12.17 °C

Conf. Interval = 8.55 (Reference: 5.10; Candidate: 6.86)

Extrapolation factor = 3.6

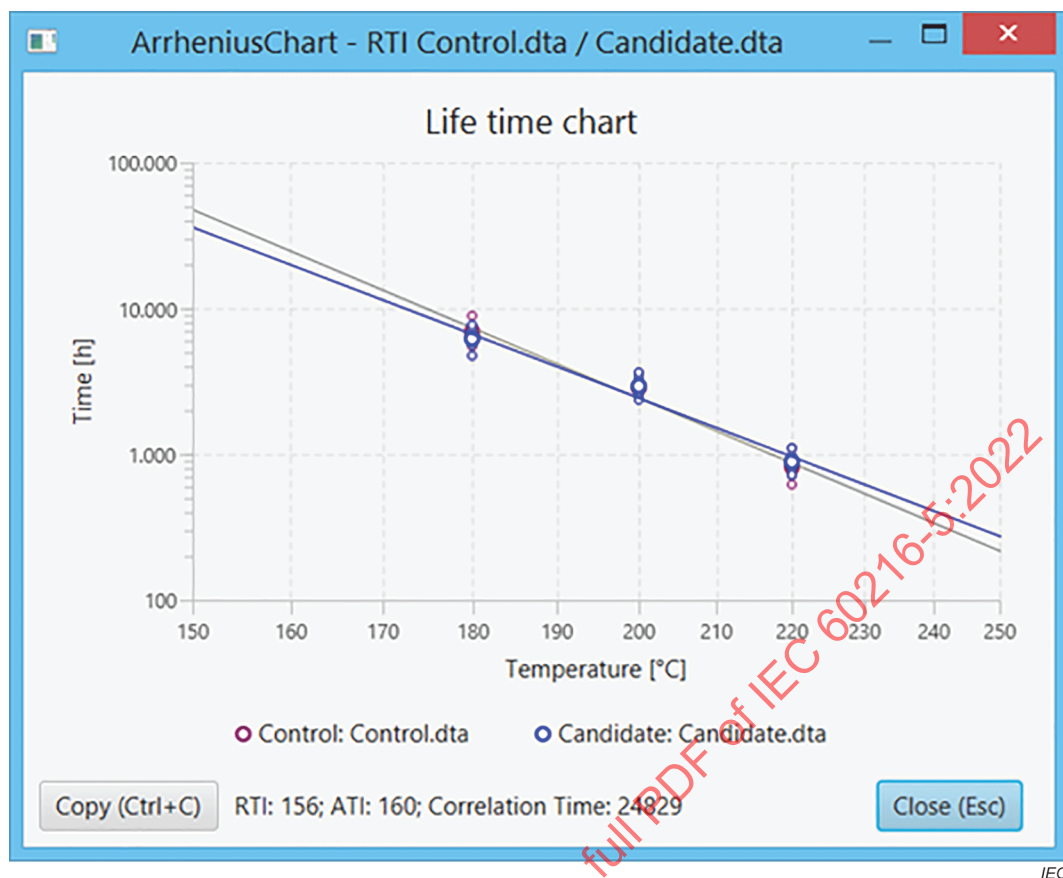


Figure C.3 – Example thermal endurance graphs

Annex D (informative)

Selection of the reference EIM

D.1 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 RTI of a candidate EIM.

D.2 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.3 Reporting items for reference EIM

The following items shall 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. main wall 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)
 - 5) Maximum temperature in the insulation system or thermal class of the electric equipment
 - 6) Experienced life time or operated time

Bibliography

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-5:2022

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	32
1 Domaine d'application	34
2 Références normatives	34
3 Termes, définitions, symboles et unités	35
3.1 Termes et définitions	35
3.2 Symboles et unités	36
4 Objectifs de la détermination de l'ITR	38
5 Procédures expérimentales	38
5.1 Choix du MIE de référence	38
5.2 Choix d'un essai de diagnostic pour l'importance du vieillissement	38
5.3 Procédures de vieillissement	38
6 Procédures de calcul	40
6.1 Données d'endurance thermique – Calcul des paramètres intermédiaires	40
6.2 Calcul de l'ITR	40
6.3 Essais statistiques et numériques	41
6.3.1 Essais de l'IEC 60216-3	41
6.3.2 Précision du temps de corrélation	41
6.3.3 Intervalle inférieur de confiance de l'ITR	41
6.3.4 Extrapolation	42
7 Résultats et rapport	42
7.1 Résultats des essais statistiques et numériques	42
7.2 Résultats	43
7.3 Rapport	43
8 Essais de matériau par vieillissement thermique de courte durée	43
9 Classification de l'isolement	44
Annexe A (informative) Répétabilité du temps de corrélation	45
A.1 Vue d'ensemble	45
A.2 Essai F pour la linéarité	45
A.3 Erreur type de la différence de deux moyennes	45
A.4 Essai t de "Student" pour la différence de deux moyennes	46
A.5 Combinaison des données	47
Annexe B (informative) Affectation des classes thermiques	48
Annexe C (informative) Programme informatique	51
C.1 Généralités	51
C.1.1 Vue d'ensemble	51
C.1.2 Exécution pratique du programme	52
C.2 Structure des fichiers de données utilisés par le programme	53
C.3 Exécution du calcul de l'ITR	54
C.4 Fichiers de sortie et graphique	54
Annexe D (informative) Choix du MIE de référence	56
D.1 Vue d'ensemble	56
D.2 Désignation d'un MIE de référence	56
D.3 Communication des informations relatives au MIE de référence	56
Bibliographie	58

Figure 1 – Graphique d'endurance thermique.....	39
Figure 2 – Graphique d'endurance thermique inacceptable	39
Figure C.1 – Boîte de dialogue des propriétés du raccourci pour le lancement du programme	53
Figure C.2 – Graphique d'endurance thermique	54
Figure C.3 – Exemple de graphique d'endurance thermique	55
Tableau 1 – Paramètres d'entrée pour le calcul de l'ITR	40
Tableau B.1 – Équivalences des classes thermiques pour matériau isolant.....	48
Tableau B.2 – Fonction F ; $p = 0,05$	49
Tableau B.3 – Fonction t	50

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-5:2022

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE –

Partie 5: Détermination de l'indice de température relatif (ITR) d'un matériau isolant

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60216-5 a été établie par le comité d'études 112 de l'IEC: Évaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2008. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) l'Annexe C "Programme informatique" a été complètement remaniée;
- b) en 3.1, les termes "ATE" et "RTE" ont été remplacés par "ATI" et "ITR" pour souligner leur référence à un matériau isolant électrique (MIE).

Cette norme doit être lue conjointement avec l'IEC 60216-1:2013, l'IEC 60216-2:2005 et l'IEC 60216-3:2021.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
112/582/FDIS	112/588/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60216, publiées sous le titre général *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de ce document indique qu'il contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer ce document en utilisant une imprimante couleur.

MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE –

Partie 5: Détermination de l'indice de température relatif (ITR) d'un matériau isolant

1 Domaine d'application

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

Des recommandations 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, des essais non destructifs ou des essais d'épreuve, même si les essais destructifs ont été utilisés de manière beaucoup plus étendue. Les données obtenues à partir d'essais non destructifs ou d'essais d'épreuve peuvent être "censurées", en ce sens que le mesurage du temps nécessaire pour atteindre le point limite a été interrompu à un moment situé après le temps médian, mais avant que toutes les éprouvettes n'aient atteint le point limite (voir l'IEC 60216-1).

Des recommandations sont données pour l'affectation préliminaire d'une classe thermique pour un matériau isolant électrique (MIE), fondée sur les performances de vieillissement thermique.

Bien que la classification thermique d'un MIE ne soit pas directement reliée à la classification thermique d'un système d'isolation électrique (EIS - electrical insulation system), celle d'un EIS suit le même concept que dans la série IEC 60216. Les procédures de calcul du présent document sont applicables à la détermination de la classe thermique d'un système d'isolation électrique (EIS) lorsque la contrainte thermique est le facteur de vieillissement prédominant.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

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

IEC 60216-2:2005, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 2: Détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques – Choix de critères d'essai*

IEC 60216-3:2021, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique*

3 Termes, définitions, symboles et unités

3.1 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1.1

matériau isolant électrique

MIE

matériau de conductivité électrique faible, utilisé pour séparer des pièces conductrices portées à des potentiels électriques différents ou pour isoler ces pièces de l'environnement

3.1.2

indice de température évaluée

ATI

valeur numérique de l'indice de température en degrés Celsius du MIE de référence

Note 1 à l'article: La valeur d'indice de température évaluée peut varier selon les différentes utilisations de ce matériau.

3.1.3

MIE candidat

matériau pour lequel une estimation de l'endurance thermique doit être réalisée

Note 1 à l'article: L'estimation est réalisée par vieillissement thermique simultané du matériau et d'un MIE de référence.

3.1.4

MIE de référence

matériau à l'endurance thermique connue (déduite de l'expérience en service ou d'une évaluation préalable d'indice de température relatif ou d'indice de température), 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 pour l'ITR

durée estimée jusqu'au point limite du MIE de référence, obtenue pour une température en degrés Celsius égale à son ATI

Note 1 à l'article: L'abréviation "ATI" est dérivée du terme anglais développé correspondant "assessed temperature index".

3.1.7

degrés de liberté

nombre de valeurs de données diminué du nombre de paramètres

3.1.8

erreur type

erreur type d'une estimation de la valeur vraie d'une propriété d'un groupe de données, c'est la valeur de l'écart-type de la population échantillon retenue par hypothèse pour laquelle la propriété du groupe peut être considérée comme membre de ce groupe

Note 1 à l'article: 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 vraie.

Note 2 à l'article: La présente norme concerne uniquement les moyennes et la différence entre deux moyennes (voir l'Article A.3).

3.1.9

écart-type

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

3.1.10

indice de température relatif

ITR

indice déterminé par essai par rapport aux performances thermiques d'un MIE de référence connu

3.1.11

variance d'un groupe de données

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

Note 1 à l'article: Le niveau de référence peut être, par exemple, une valeur moyenne (1 paramètre) ou une droite (2 paramètres, dans le présent document, 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 l'équation d'endurance thermique pour le MIE de référence
a_B	Coefficient de régression (intersection avec l'axe de y) de l'équation d'endurance thermique pour le MIE candidat
b_A	Coefficient de régression (pente) de l'équation d'endurance thermique pour le MIE de référence
b_B	Coefficient de régression (pente) de l'équation d'endurance thermique pour le MIE candidat
X	Variable pour l'analyse statistique égale à $1/(g + \theta_0)$
Y	Variable pour l'analyse statistique égale à $\ln(\tau)$
g	Température de vieillissement lors de la détermination de l'ITR
θ_0	Température sur l'échelle de Kelvin égale à 0 °C
τ	Durée jusqu'au point limite
τ_c	Durée estimée jusqu'au point limite d'un MIE de référence pour une température égale à l'ATI ("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 l'ATI
θ_B	Température en degrés Celsius égale à l'ITR
$\hat{X}_B$	Valeur de x correspondant à θ_B
$\hat{X}_A$	Value de x correspondant à θ_A
$\theta_{c(B)}$	Limite inférieure de confiance de θ_B
$\theta_{c(A)}$	Limite inférieure de confiance de θ_A
$X_{L(B)}$	Valeur de x correspondant à la limite inférieure de confiance de θ_B
$X_{L(A)}$	Valeur de x correspondant à la limite inférieure de confiance de θ_A
Δ_B	Intervalle inférieur de confiance de θ_B
Δ_A	Intervalle inférieur de confiance de θ_A
$IDC_{B(c)}$	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
v_A, v_B	Logarithmes des durées moyennes des plus longues jusqu'au point limite 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

4 Objectifs de la détermination de l'ITR

Les objectifs de la détermination sont comme suit.

- a) Exploiter une relation réputée 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 limitée (par comparaison avec un MIE de référence connu, voir les Articles 5 et 6).

Dans la majorité des cas, cela implique une extrapolation sur une durée plus longue et/ou à une température plus basse que pour les données expérimentales. Il convient que cette extrapolation soit minimale, par un choix approprié des températures et des temps de vieillissement, car l'incertitude du résultat augmente rapidement avec l'extrapolation. Cependant, même en l'absence 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 compense au moins partiellement les variations systématiques. Les procédures statistiques à utiliser pour évaluer la signification statistique des variations sont présentées à l'Annexe A.
- c) Fournir des instructions pour l'affectation d'une classe thermique à un MIE.

5 Procédures expérimentales

5.1 Choix du MIE de référence

L'exigence initiale pour le MIE de référence est qu'il ait un indice de température connu (ATI) pour l'application à l'étude. L'indice de température, s'il est déterminé par une procédure ITR, 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.

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

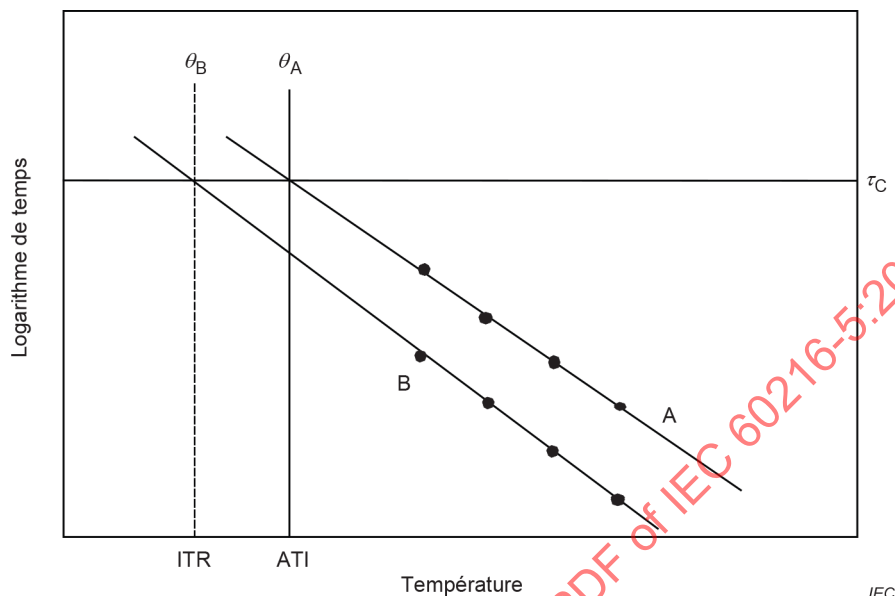
L'essai de diagnostic doit être un de ceux qui sont considérés comme adaptés à l'application pour laquelle l'ITR est exigé. Le même essai doit être appliqué à la fois au MIE de référence et au MIE candidat.

5.3 Procédures de vieillissement

Le nombre et le type d'éprouvettes de chaque matériau, ainsi que les températures et les temps de vieillissement, doivent être conformes aux exigences de l'IEC 60216-1:2013, 5.3.2, 5.4 et premier alinéa du 5.5. Pour chaque température de vieillissement courante, la charge de l'étuve doit comprendre un nombre approprié d'éprouvettes des 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 des deux matériaux. Il est important que les éprouvettes des deux matériaux soient vieilles 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 sont susceptibles d'être acceptables pour les analyses, à partir des données représentées à la Figure 2, le groupe des températures les plus basses du MIE candidat et le groupe des températures les plus élevées du MIE de 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 du point b) du 7.1 du présent document, 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 exigés d'éprouvettes provenant des deux matériaux.

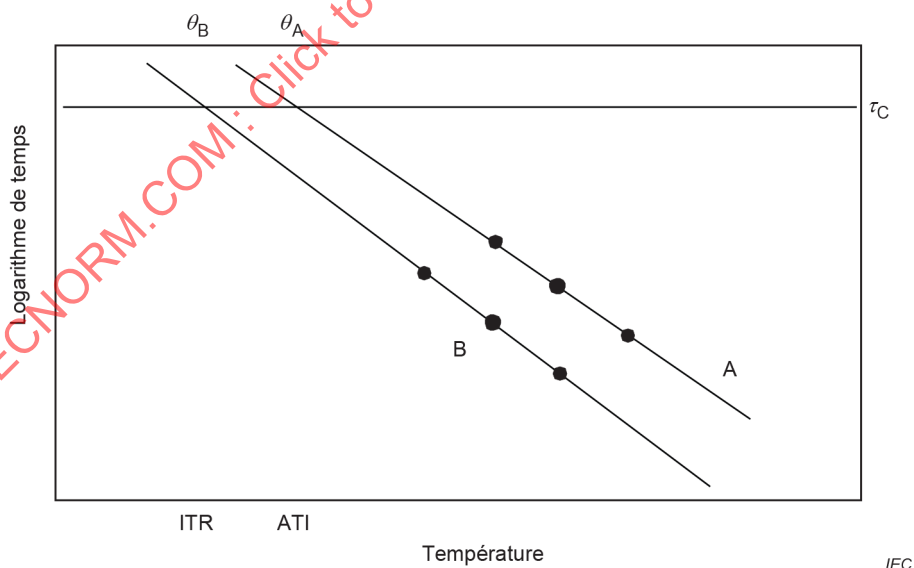


Légende

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 vieilles simultanément à au moins trois des températures.

Figure 2 – Graphique d'endurance thermique inacceptable

6 Procédures de calcul

6.1 Données d'endurance thermique – Calcul des paramètres intermédiaires

Les équations d'endurance thermique doivent être calculées conformément aux instructions de l'IEC 60216-3.

Les paramètres d'entrée du Tableau 1 ci-dessous sont nécessaires pour calculer l'ITR et il convient de les noter (chacun des symboles peut avoir un indice A pour le MIE de référence ou un indice B pour le MIE candidat).

Tableau 1 – Paramètres d'entrée pour le calcul de l'ITR

Paramètre	Symbole dans l'IEC 60216-3	Équation dans l'IEC 60216-3	Symbole dans l'IEC 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 division par deux	IDC	(53)	--	HIC _{B(c)}
Logarithme de la durée moyenne la plus grande jusqu'au point limite	$\bar{y}_k$	--	v_A	v_B
Limite inférieure de confiance de θ	$\hat{\theta}_c$	(50)	$\theta_{c(A)}$	$\theta_{c(B)}$
NOTE Si les calculs de l'IEC 60216-3 sont effectués avec le programme informatique recommandé de l'Annexe C, 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 (IEC 60216-3:2021, 6.3.2) est également nécessaire.

6.2 Calcul de l'ITR

Les coefficients des équations d'endurance thermique doivent être calculés à la fois pour le MIE de référence et le MIE candidat, conformément aux instructions données en 6.1 et 6.2 de l'IEC 60216-3:2021 (voir 6.1 du présent document). À partir de ces coefficients, les valeurs de τ_c et θ_B doivent être calculées comme cela est indiqué ci-dessous (voir également la Figure 1).

- a) À partir des coefficients de régression du MIE de référence, calculer la durée τ_c correspondant à son ATI:

$$\ln \tau_c = a_A + \frac{b_A}{(\theta_A + \theta_0)} \quad (1)$$

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

$$\theta_B = \frac{b_B}{[\ln(\tau_c) - a_B]} - \theta_0 \quad (2)$$

L'ITR exigé est égal à la valeur de θ_B exprimée en degrés Celsius.

6.3 Essais statistiques et numériques

6.3.1 Essais de l'IEC 60216-3

Les essais statistiques et numériques de l'IEC 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 7.3.

6.3.2 Précision du temps de corrélation

Lorsqu'un MIE de référence a été soumis à l'essai précédemment, en utilisant le même essai de diagnostic et le même ATI, 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 d'en rechercher la cause et de la consigner.

Les procédures statistiques à utiliser pour évaluer la signification statistique des différences trouvées sont données à l'Annexe A.

6.3.3 Intervalle inférieur de confiance de l'ITR

La limite inférieure de confiance de l'ITR est calculée à partir des limites inférieures de confiance des estimations de température qui sont égales à θ_A et θ_B (IEC 60216-3:2021, 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 l'IEC 60216-3:2021, 6.3.3 b), pour une durée égale à τ_c et soustraite 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 statistique de 0,05 (voir le Tableau B.3);

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

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

(voir l'IEC 60216-3:2021, 6.2.2, pour de plus amples informations)

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 l'ITR, Δ_R , est alors égal à la somme vectorielle (vecteur orthogonal) des deux intervalles précédents:

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

6.3.4 Extrapolation

L'extrapolation exigée 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'au point limite (v_A ou v_B). L'extrapolation exigée est la plus grande de ces deux valeurs.

7 Résultats et rapport

7.1 Résultats des essais statistiques et numériques

Les critères suivants s'appliquent:

- linéarité de la relation d'endurance thermique et des intervalles de confiance des résultats d'IT des MIE de référence et candidat (voir l'IEC 60216-3:2021, 6.3.2 et 6.3.3) qui doivent satisfaire aux exigences de l'IEC 60216-3:2021, 7.3.1 et 7.3.2;
- extrapolation au temps de corrélation (voir 6.3.4 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;
- intervalle inférieur de confiance de l'ITR (voir 6.3.3 ci-dessus): La valeur de Δ_R doit être inférieure à l'intervalle de division par deux ($ID_{B(c)}$) du MIE candidat, pour une durée égale au temps de corrélation (voir l'IEC 60216-3:2021, 7.1).

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

7.2 Résultats

Les résultats doivent être déterminés à partir des calculs du 6.2 et du 6.3.3, comme suit.

- Si les trois critères d'essai (voir 7.1) sont tous satisfaits, le résultat doit correspondre à la valeur d'ITR. Le résultat doit être consigné dans le format: "ITR conformément à l'IEC 60216-5 = xxx" arrondi à un degré Celsius complet.
- Si l'un des critères d'essai n'est pas satisfait, le résultat doit correspondre à la limite inférieure de confiance à 95 % de l'ITR. Le résultat doit être consigné dans le format: "Limite inférieure de confiance à 95 % de l'ITR = xxx" arrondi à un degré Celsius complet.
- Si deux des critères ou plus ne sont pas satisfaits, un résultat conforme aux exigences de l'IEC 60216-5 ne peut pas être consigné. Le résultat peut être consigné dans le format: "ITR = xxx. (Résultat non validé par l'analyse statistique)".

7.3 Rapport

Le rapport doit comprendre ce qui suit:

- le résultat;
- l'identification du MIE de référence et son ATI (voir l'Annexe D);
- l'essai de diagnostic utilisé et le point limite;
- les rapports d'endurance thermique conformément à l'IEC 60216-1 pour les MIE de référence et candidat;
- le détail de l'échec de la validation statistique pour un résultat de la catégorie 7.2 c).

8 Essais de matériau par vieillissement thermique de courte durée

Il est souvent nécessaire de procéder à des essais de vieillissement thermique de courte durée, par exemple pour comparer les performances thermiques 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 est susceptible d'être utilisé.

L'interprétation de tels essais peut être quelque peu difficile, en particulier si le vieillissement se fait à une seule température, avec mesurages 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 assignées similaires au matériau d'essai soit vieilli simultanément et soumis à l'essai 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

- le MIE candidat et le MIE de référence, ou
- 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, l'essai de différence significative doit être réalisé à un niveau de 0,05 (voir le Tableau B.2).

Si des différences importantes ne sont pas constatées, par hypothèse, il peut être estimé que les performances d'endurance thermique des deux matériaux comparés 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 sont 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.

9 Classification de l'isolement

Si cela est exigé, le MIE candidat peut être affecté à une classe thermique d'isolation conformément à l'Annexe B, Tableau B.1.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-5:2022

Annexe A (informative)

Répétabilité du temps de corrélation

A.1 Vue d'ensemble

Si un MIE de référence a été soumis à l'essai 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 d'en rechercher la cause et de la consigner.

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.2 Essai F pour la linéarité

Les variances des valeurs y pour les MIE de référence dans la présente détermination et dans la précédente (s_1^2 et s_2^2) doivent être calculées conformément aux instructions de l'IEC 60216-3:2021 [6.3.2, Équation (41) ou (42)]. La linéarité, c'est-à-dire l'équivalence de ces variances est alors vérifiée par l'essai F avec un niveau de signification statistique de 0,05, des degrés de liberté n_1-2 et n_2-2 (voir le Tableau B.2).

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 l'IEC 60216-3:2021, Équations (41) et (42).

A.3 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.

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

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

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.

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

$$n_D = \frac{(s_D^2)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1-1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2-1}} \quad (\text{A.4})$$

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

A.4 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 s'il est prévu que les valeurs vraies soient les mêmes, 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.3, et l'erreur type est calculée.

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

$$t = \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)}{\sqrt{s_D^2}} \quad (\text{A.5})$$

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 niveau de signification statistique de 0,05, donnée dans le Tableau B.3, la différence est considérée comme significative et il convient d'en rechercher la cause.

Pour atteindre l'objectif du 6.3.2, dans les calculs des Équations (A.1) à (A.5), les valeurs de s_1^2 et s_2^2 sont obtenues en utilisant l'Équation (45) de l'IEC 60216-3:2021, c'est-à-dire:

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

$$s_1^2 = \left| N s_Y^2 \right|_1 \quad \text{et} \quad s_2^2 = \left| N s_Y^2 \right|_2 \quad (\text{A.6})$$

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

A.5 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 en fusionnant les deux ensembles de données:

$$\bar{y} = \frac{(n_1 \bar{y}_1 + n_2 \bar{y}_2)}{(n_1 + n_2)} \quad (\text{A.7})$$

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60216-5:2022