

NORME INTERNATIONALE INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
216-1

Troisième édition
Third edition
1987



Commission Electrotechnique Internationale

International Electrotechnical Commission

Международная Электротехническая Комиссия

Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques

Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement
et à l'évaluation des résultats d'essai

Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials

Part 1: General guidelines for ageing procedures and evaluation
of test results

IECNORM.COM: link to view the full PDF of IEC 60216-1:1987

Publication
216-1: 1987

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, symboles littéraux et signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 617 de la CEI: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur le deuxième feuillet de la couverture, qui énumère les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 617, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

NORME INTERNATIONALE INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
216-1

Troisième édition
Third edition
1987



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques

Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement
et à l'évaluation des résultats d'essai

Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials

Part 1: General guidelines for ageing procedures and evaluation
of test results

© CEI 1987 Droits de reproduction réservés – Copyright – all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

Articles

1. Domaine d'application	8
2. Considérations générales	8
3. Principes d'évaluation et définitions	10
4. Choix des méthodes d'essai — Instructions générales	12
4.1 Considérations générales	12
4.2 Instructions spécifiques pour la détermination de l'IT	12
4.3 Instructions spécifiques pour la détermination de l'IRT	12

SECTION DEUX — MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

5. Choix des points limites	14
6. Préparation des éprouvettes d'essai	14
7. Détermination de la valeur initiale de la propriété et nombre d'éprouvettes	16
7.1 Détermination de la valeur initiale de la propriété	16
7.2 Nombre d'éprouvettes pour des critères d'essai destructif	16
7.3 Nombre d'éprouvettes pour des critères d'épreuve	18
7.4 Nombre d'éprouvettes pour des critères d'essai non destructif	18
8. Températures et durées d'exposition	18
9. Etuves de vieillissement	22
10. Conditionnement en environnement	22
10.1 Conditions atmosphériques au cours du vieillissement	22
11. Mode opératoire	22
11.1 Méthode utilisant une épreuve	24
11.2 Méthode utilisant un essai non destructif	24
11.3 Méthode utilisant un essai destructif	26

SECTION TROIS — EVALUATION

12. Analyse des données d'essai et détermination des caractéristiques d'endurance thermique	26
12.1 Caractéristiques d'endurance thermique	28
12.2 Évaluation numérique de l'IT	28
12.3 Détermination du temps pour atteindre le point limite à chaque température	30
12.4 Tracé du graphique d'endurance thermique	32
12.5 Évaluation statistique des résultats d'essai	32
12.6 Évaluation graphique de l'IT	32
12.7 Détermination de l'indice relatif de température	32
13. Traitement et présentation de résultats d'essai ne satisfaisant pas aux exigences statistiques	34
14. Procès-verbal d'essai	34
ANNEXE A — Notes sur les mécanismes de dégradation thermique	38
ANNEXE B — Intervalle de division par deux	40
ANNEXE C — Dispersion et défaut de linéarité	42
ANNEXE D — Profil d'endurance thermique (PET)	44
FIGURES	46

CONTENTS

FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7

SECTION ONE — GENERAL

Clause

1. Scope	9
2. General considerations	9
3. Principles of evaluation and definitions	11
4. Selection of test procedures — General guidelines	13
4.1 General considerations	13
4.2 Specific instructions for determination of TI	13
4.3 Specific instructions for determination of RTI	13

SECTION TWO — EXPERIMENTAL PROCEDURES

5. Selection of end-points	15
6. Preparation of test specimens	15
7. Establishment of initial property value and number of test specimens	17
7.1 Establishment of initial property value	17
7.2 Number of specimens for destructive test criteria	17
7.3 Number of specimens for proof test criteria	19
7.4 Number of specimens for non-destructive test criteria	19
8. Exposure temperatures and times	19
9. Ageing ovens	23
10. Environmental conditioning	23
10.1 Atmospheric conditions during ageing	23
11. Procedure	23
11.1 Procedure using a proof test	25
11.2 Procedure using a non-destructive test	25
11.3 Procedure using a destructive test	27

SECTION THREE — EVALUATION

12. Analysis of test data and determination of thermal endurance characteristics	27
12.1 Thermal endurance characteristics	29
12.2 Numerical evaluation of TI	29
12.3 Determination of the time to reach the end-point criterion at each temperature	31
12.4 Drawing the thermal endurance graph	33
12.5 Statistical evaluation of test data	33
12.6 Graphical evaluation of TI	33
12.7 Determination of the relative temperature index	33
13. Treatment and presentation of test data which fail to satisfy the statistical requirements	35
14. Test report	35

APPENDIX A — Notes on mechanisms of thermal degradation	39
APPENDIX B — The halving interval	41
APPENDIX C — Dispersion and non-linearity	43
APPENDIX D — The thermal endurance profile (TEP)	45
FIGURES	46

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE POUR LA DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE DE MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES

Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement et à l'évaluation des résultats d'essai

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la C E I, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la C E I et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 15B: Essais d'endurance, du Comité d'Etudes n° 15 de la C E I. Matériaux isolants.

Elle remplace la deuxième édition, parue en 1974.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Procédure des Six Mois	Rapports de vote
15B(BC)62 15B(BC)62A	15B(BC)69 15B(BC)69A

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Les publications suivantes de la C E I sont citées dans la présente norme:

- Publications n^{os} 85 (1984): Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique.
 212 (1971): Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides.
 493 (—): Guide pour l'analyse statistique de données d'essais de vieillissement.
 505 (1975): Guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique.
 611 (1978): Guide pour la préparation de procédures d'essai pour évaluation de l'endurance thermique des systèmes d'isolation électrique.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**GUIDE FOR THE DETERMINATION
OF THERMAL ENDURANCE PROPERTIES
OF ELECTRICAL INSULATING MATERIALS**

**Part 1: General guidelines for ageing procedures and evaluation
of test results**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the I E C recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the I E C recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 15B: Endurance Tests, of I E C Technical Committee No. 15: Insulating Materials.

It replaces the second edition, published in 1974.

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

Six Months' Procedure	Report on Voting
15B(CO)62 15B(CO)62A	15B(CO)69 15B(CO)69A

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the Voting Reports indicated in the above table.

The following I E C publications are quoted in this standard:

- Publications Nos. 85 (1984): Thermal Evaluation and Classification of Electrical Insulation.
 212 (1971): Standard Conditions for Use prior to and during the Testing of Solid Electrical Insulating Materials.
 493 (—): Guide for the Statistical Analysis of Ageing Test Data.
 505 (1975): Guide for the Evaluation and Identification of Insulation Systems of Electrical Equipment.
 611 (1978): Guide for the Preparation of Test Procedures for Evaluating the Thermal Endurance of Electrical Insulation Systems.

GUIDE POUR LA DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE DE MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES

Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement et à l'évaluation des résultats d'essai

INTRODUCTION

Les méthodes de la C E I relatives à la détermination et à l'expression de l'endurance thermique des matériaux isolants électriques mettent en évidence une nette tendance qui peut se résumer comme suit:

- En raison de l'évolution rapide de la technologie des polymères et de l'isolation électrique, l'établissement de listes de propriétés thermiques d'un certain nombre de matériaux couramment utilisés, fondées sur l'expérience en service, n'est plus actuellement satisfaisant.
- Des méthodes d'essai ont été développées, qui permettent de vérifier la validité du modèle physique de base. Un programme complet d'essais de matériaux permet de fournir l'indice de température (IT) qui s'exprime par une valeur unique. En variante, des essais comparatifs permettent de fournir l'indice relatif de température (IRT), qui caractérise les performances du matériau en essai par comparaison à celles d'un matériau de référence. L'IRT était à l'origine fondé sur des informations provenant de l'expérience en service. Une autre particularité des essais IRT est d'améliorer la reproductibilité entre laboratoires.
- La représentation sous forme d'une valeur unique ne permet pas une description complète de la relation d'endurance thermique d'un matériau. Aussi, un indice composé appelé Profil d'Endurance Thermique (PET) a-t-il été introduit dans la deuxième édition de la Publication 216 de la C E I. Cela tenait compte du fait qu'à la fois la pente du graphique d'endurance thermique et le degré de confiance des résultats sont importants et utiles.
- L'incorporation d'un nombre représentant le degré de confiance statistique n'étant pas d'une importance primordiale, dans la présente édition, on a mis l'accent sur les deux indices IT et IRT tout en maintenant la vérification de la validité des résultats d'essai. La pente du graphique d'endurance thermique est maintenant explicitement donnée grâce à l'intervalle de division par deux IDC, aisément compréhensible. Cela permet de supprimer le PET.

Note. — Au sujet du profil d'endurance thermique (PET) de la deuxième édition, voir annexe D.

La troisième édition de la Publication 216 de la C E I comprend cinq parties:

- Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement et à l'évaluation des résultats d'essai.
- Deuxième partie: Choix de critères d'essai.
- Troisième partie: Instructions pour le calcul de l'indice de température (IT) et de l'indice relatif de température (IRT). (A l'étude.)
- Quatrième partie: Etuves de vieillissement.
- Cinquième partie: Guide pour l'utilisation des caractéristiques d'endurance thermique.

Les méthodes statistiques utilisées sont décrites dans la Publication 493 de la C E I.

Note. — Ce travail peut être poursuivi. En ce qui concerne les révisions et les nouvelles parties, consulter le dernier catalogue des Publications de la C E I pour avoir la liste la plus récente.

GUIDE FOR THE DETERMINATION OF THERMAL ENDURANCE PROPERTIES OF ELECTRICAL INSULATING MATERIALS

Part 1: General guidelines for ageing procedures and evaluation of test results

INTRODUCTION

I E C methods to determine and express the thermal endurance of electrical insulating materials reveal a clear trend which may be described as follows:

- The original listing of the thermal capabilities of a number of widely used materials based on service experience is no longer satisfactory due to the accelerating pace of polymer and electrical insulation technology.
- Test procedures have been developed which enable the validity of the underlying physical model to be verified. A complete test program for materials produces the temperature index (TI) which is a one-point characteristic. Alternatively, comparative tests produce the relative temperature index (RTI) which characterizes the performance of the test material relative to that of the known reference material. RTI was originally supported by a certain input from service experience. An additional feature is to improve the reproducibility between laboratories.
- The one-point presentation does not permit a complete description of a material's thermal endurance relationship. Therefore, a composite index called the thermal endurance profile (TEP) was introduced in the second edition of I E C Publication 216. This was done because it was recognized that both the slope of the thermal endurance graph and the confidence of the experimental test data are important and relevant.
- Since the regular inclusion of a figure representing the statistical confidence is not of major practical importance, the present edition — maintaining the verification of the confidence of the test data — emphasizes just the two indices TI and RTI. The slope of the thermal endurance graph is now explicitly given by means of the easily comprehensible halving interval (HIC). This permits the deletion of the TEP.

Note. — Regarding the Thermal Endurance Profile TEP of the Second edition, see Appendix D.

The third edition of I E C Publication 216 consists of five parts:

- Part 1: General guidelines for ageing procedures and evaluation of test results.
- Part 2: List of available tests.
- Part 3: Instructions for calculating the temperature index (TI) and the relative temperature index (RTI). (Under consideration.)
- Part 4: Ageing ovens.
- Part 5: Guidelines for the practical application of thermal endurance characteristics.

The relevant statistical methods will be found in I E C Publication 493.

Note. — This work may be continued. For revisions and new parts, see the current catalogue of I E C Publications for an up-to-date list.

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente norme définit les principes de méthodes d'essai pour évaluer l'endurance thermique des matériaux isolants électriques et des combinaisons simples de ces matériaux; elle décrit les conditions à observer pendant les différents essais et donne les bases des méthodes d'analyse des résultats d'essai pour obtenir l'indice de température, l'indice relatif de température et l'intervalle de division par deux. On porte une attention particulière aux résultats d'essai ne répondant pas d'une manière satisfaisante aux exigences de linéarité et de dispersion de la relation d'endurance thermique.

Note. — Dans cette norme, le terme «matériau(x) isolant(s)» signifie à la fois «matériau(x) isolant(s) et combinaison(s) simple(s) de ces matériaux».

2. Considérations générales

Les essais d'endurance thermique sont destinés à mettre en évidence la façon suivant laquelle une exposition prolongée à une température élevée produit des dégradations irréversibles des propriétés des matériaux isolants. Les propriétés essentielles sont les propriétés électriques et mécaniques dont dépend le fonctionnement de l'isolation dans les conditions réelles et qui peuvent être affectées par le vieillissement thermique.

Note. — Cependant, d'autres propriétés qui varient avec la température de façon réversible en l'absence de tout vieillissement thermique peuvent être, seules ou en association, le facteur limitatif en pratique. Dans de tels cas, on appliquera d'autres méthodes d'évaluation qui ne font pas l'objet des essais d'endurance thermique.

Dans l'état actuel des connaissances, l'évaluation de l'endurance thermique des matériaux isolants s'effectue en exposant les matériaux à trois ou à plus de trois températures supérieures à l'indice de température présumé. Les résultats d'une telle exposition peuvent souvent s'exprimer par une relation linéaire (Arrhénius) entre le logarithme du temps nécessaire pour atteindre un certain degré de variation de propriété et l'inverse de la température thermodynamique (absolue). Voir l'annexe A.

Un calcul fondé sur la relation d'Arrhénius ou une estimation graphique à partir du graphique d'endurance thermique est utilisé pour estimer les durées d'endurance à l'intérieur ou à l'extérieur de la gamme des températures d'exposition.

Dans certains cas, la relation d'endurance thermique n'est pas linéaire dans la gamme de températures considérée. Lorsque cela se produit, l'évaluation de l'endurance thermique de matériaux est encore possible, voir articles 7, 8 et 13 et l'annexe C de la présente partie.

Toutes les propriétés d'un matériau soumis au vieillissement thermique peuvent ne pas se détériorer à la même vitesse. En conséquence, à un matériau donné peuvent être attribués plusieurs indices d'endurance thermique, déduits par exemple de la mesure de différentes propriétés. Voir la Publication 216-2 de la C E I.

Bien que les caractéristiques d'endurance thermique, tout en donnant des indications sur les matériaux, ne puissent pas, à elles seules, être utilisées pour prévoir la relation entre la température et la performance d'un système d'isolation en service, une telle relation est parfois utilisée sans justification suffisante. Il est à souligner que les caractéristiques d'endurance thermique des matériaux ne devraient être liées aux températures de fonctionnement que lorsqu'une telle relation a été établie à partir d'autres essais ou de l'expérience en service. Voir également la Publication 216-4 de la C E I et les publications suivantes:

- Publication 85 de la C E I.
- Publication 505 de la C E I.
- Publication 611 de la C E I.

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope

This standard gives principles of test procedures to evaluate the thermal endurance of electrical insulating materials and simple combinations of such materials; it describes the conditions to be observed during the various tests and shows the basic analysis methods to derive the temperature index, the relative temperature index and the halving interval from the test results. Attention is given to test data which do not completely satisfy the requirements of linearity and dispersion of the thermal endurance relationship.

Note. — Throughout the rest of this standard the term “insulating materials” is always taken to mean “insulating material(s) and simple combination(s) of such materials”.

2. General considerations

Thermal endurance tests serve the purpose of revealing how prolonged exposure to elevated temperature produces irreversible degradation of the properties of insulating materials. Of importance are those electrical and mechanical properties on which the appropriate functioning of the insulation in actual operation depends, and which may deteriorate due to thermal ageing.

Note. — However, other properties which change reversibly with temperature without thermal ageing may, singly or in combination, be the limiting factor in practice. In such cases other evaluation methods not in the scope of thermal endurance testing will be applied.

According to current knowledge, the thermal endurance of insulating materials is assessed by exposure to three or more ageing temperatures higher than the expected temperature index. The results of such exposure can often be described by a linear (Arrhenius) relationship between the logarithm of the time taken to reach a certain degree of property change and the reciprocal thermodynamic (absolute) temperature. See Appendix A.

A calculation based on the Arrhenius relationship or a graphical estimation on the thermal endurance graph is used to estimate endurance times inside or outside of the range of exposure temperatures.

It sometimes happens that the thermal endurance relationship is non-linear in the temperature range of interest. If such a relationship is well established, the evaluation of the thermal capability of materials may still be possible, see Clauses 7, 8 and 13 and Appendix C of this part.

The properties of a material subjected to thermal ageing may not all deteriorate at the same rate. Consequently, a material may be assigned more than one thermal endurance index derived, for example, from the measurement of different properties. See I E C Publication 216-2.

Although thermal endurance characteristics, while giving guidance on materials, should not by themselves be taken to predict the relationship between temperature and performance of an insulation system in service, such a relationship is sometimes used without adequate justification. It is emphasized that thermal endurance characteristics of materials should only be related to operating temperatures when a relationship has been established by other tests, or service experience. See also I E C Publication 216-4 and the following publications:

- I E C Publication 85.
- I E C Publication 505.
- I E C Publication 611.

3. Principes d'évaluation et définitions

Les méthodes d'essai qui font l'objet de ce guide concernent les matériaux isolants et leurs combinaisons simples avant qu'ils n'aient été mis en œuvre dans des structures isolantes associées à des parties spécifiques de matériel électrique.

Une distinction entre ces essais de matériaux et des essais destinés à évaluer les performances de systèmes d'isolation est nécessaire pour deux raisons principales. Premièrement, les détails de l'utilisation particulière d'un matériau ne peuvent pas être connus de son fabricant. Deuxièmement, la performance d'un système d'isolation ne peut pas en général être déduite de celle des matériaux constitutifs.

Les méthodes d'essai qui font l'objet de ce guide fournissent, sur les caractéristiques à long terme des matériaux, des renseignements qui guident le fabricant de produits électrotechniques dans le choix des matériaux en vue d'une évaluation ou d'une application ultérieures.

Note. — Des résultats d'essai obtenus sur des matériaux bien connus et largement utilisés ont été réunis, pour servir de référence ad hoc, dans *IEEE Trans. El. Ins.* vol. EI-17 (1982), n° 1, pp. 53-63, et permettre des comparaisons entre anciens et nouveaux matériaux. De telles compilations doivent être remises à jour périodiquement.

Les définitions suivantes doivent être utilisées:

- 1) *L'indice de température (IT)* est le nombre correspondant à la température, en degrés Celsius, déduite de la relation d'endurance thermique pour un temps donné, normalement égal à 20 000 h.
- 2) *L'indice relatif de température (IRT)* est l'indice de température d'un matériau en essai, obtenu à partir du temps correspondant à l'indice connu de température d'un matériau de référence, lorsque ces deux matériaux sont soumis aux mêmes modes de vieillissement et de diagnostic, dans un essai comparatif.
- 3) *L'intervalle de division par deux (IDC)* est le nombre correspondant à l'intervalle de température, en degrés Celsius, qui exprime la division par deux du temps pour atteindre le point limite, pris à la température de l'IT ou de l'IRT.
- 4) *Le graphique d'endurance thermique* (graphique d'Arrhénius) est un graphique sur lequel le logarithme du temps nécessaire pour atteindre un point limite spécifié, lors d'un essai d'endurance thermique, est porté en fonction de l'inverse de la température thermodynamique (absolue) d'essai.

La détermination de l'IDC est donnée au paragraphe 12.2. L'IDC est une mesure de la pente du graphique d'endurance thermique. Ce n'est pas une constante car il varie avec la température même lorsque la relation d'endurance thermique est linéaire. Dans de nombreux cas, l'erreur due à l'utilisation de l'IDC dans la gamme de températures considérée reste dans des limites acceptables. Voir annexe B.

La méthode normalisée pour l'évaluation thermique d'un matériau isolant comprend plusieurs étapes. Certaines de ces étapes diffèrent légèrement suivant que l'on cherche à déterminer l'IT ou l'IRT. Ces dernières sont repérées par un astérisque et les différences sont expliquées dans l'article auquel il est fait référence.

- a)* Préparer des éprouvettes appropriées aux mesures envisagées de la propriété. Voir articles 6 et 7.
- b)* Soumettre les groupes d'éprouvettes au vieillissement à différents niveaux fixés de températures élevées, soit de façon continue, soit de façon cyclique durant un nombre de périodes entre lesquelles les éprouvettes sont ramenées à une température normalisée, en général la température ambiante. Voir article 8.

3. Principles of evaluation and definitions

The test procedures covered by this guide apply to insulating materials and simple combinations thereof before they are fabricated into insulating structures identified with specific parts of electric equipment.

A distinction between such material tests and tests to evaluate the performance of insulation systems is necessary for two main reasons. Firstly, the details of the particular use of a material cannot be known to its manufacturer. Secondly, the performance of an insulation system cannot generally be predicted from that of its component materials.

The procedures covered by this guide produce information on the long-term characteristics of materials which provide the manufacturer of electrotechnical products with guidance for the selection of materials for further evaluation and application.

Note. — Results of tests on familiar, widely used materials are compiled for convenient reference in *IEEE Trans. El. Ins.* vol. EI-17 (1982) No. 1, pp. 53-63, so that comparisons between new and old materials can be made. Such compilations need to be updated periodically.

The following definitions shall apply:

- 1) The *temperature index (TI)* is the number corresponding to the temperature in degrees Celsius derived from the thermal endurance relationship at a given time, normally 20 000 h.
- 2) The *relative temperature index (RTI)* is the temperature index of a test material obtained from the time which corresponds to the known temperature index of a reference material when both materials are subjected to the same ageing and diagnostic procedures in a comparative test.
- 3) The *halving interval (HIC)* is the number corresponding to the temperature interval in degrees Celsius which expresses the halving of the time to end-point taken at the temperature of the TI or the RTI.
- 4) The *thermal endurance graph (Arrhenius graph)* is a graph in which the logarithm of time needed to reach a specified end-point in a thermal endurance test is plotted versus the reciprocal thermodynamic (absolute) test temperature.

The derivation of HIC is given in Sub-clause 12.2. HIC is a measure of the slope of the thermal endurance graph. It is not a constant but varies with temperature even when the thermal endurance relationship is linear. In many practical cases the error caused by using HIC in the temperature range of interest remains within acceptable limits. See Appendix B.

The standardized procedure for the thermal evaluation of an insulating material consists of a sequence of steps. Some of these steps are slightly different depending on whether TI or RTI is to be determined. These steps are marked with an asterisk and the differences are explained in the clause to which reference is made.

- a)* Preparing suitable specimens appropriate for the intended property measurements. See Clauses 6 and 7.
- b)* Subjecting groups of specimens to ageing at several fixed levels of elevated temperature, either continuously or cyclically for a number of periods between which the specimens are normally returned to a standard temperature, usually room temperature. See Clause 8.

- c) Soumettre les éprouvettes à une méthode de diagnostic pour révéler le degré de vieillissement. Les méthodes de diagnostic peuvent être des déterminations destructives ou non destructives d'une propriété, ou encore des épreuves potentiellement destructives. Voir articles 5 et 8.
- d) Poursuivre l'exposition continue ou cyclique à la chaleur jusqu'à ce que soit atteint le point limite spécifié, c'est-à-dire la défaillance d'éprouvettes ou un degré donné de changement de la propriété mesurée. Voir articles 5 et 8.
- e) Présenter les résultats d'essai d'une façon qui dépend du mode de vieillissement (continu ou cyclique) et de la méthode de diagnostic (voir point c)) : courbes de vieillissement, ou temps ou nombre de cycles pour atteindre le point limite pour chaque éprouvette. Voir paragraphe 12.3.
- f)* Evaluer numériquement ces résultats et les présenter graphiquement conformément aux articles 12 et 13.
- g)* Exprimer l'information complète sous une forme numérique abrégée, comme décrit à l'article 12, au moyen de l'indice de température et de l'intervalle de division par deux, ou de l'indice relatif de température et de l'intervalle de division par deux.

Des exemples résumés de méthodes d'essai complètes avec des critères d'épreuve ou des critères d'essais destructifs et non destructifs sont décrits à l'article 11.

4. Choix des méthodes d'essai — Instructions générales

4.1 *Considérations générales*

Chaque méthode d'essai doit préciser la forme, les dimensions et le nombre des éprouvettes d'essai, les températures et durées d'exposition, les propriétés auxquelles se rapportent l'IT ou l'IRT, les méthodes utilisées pour leur détermination, les points limites et le mode de détermination des caractéristiques d'endurance thermique à partir des résultats expérimentaux.

Il convient que la propriété choisie soit aussi représentative que possible de la fonction du matériau dans une utilisation pratique, particulièrement en ce qui concerne la détermination de l'IRT. On trouve un choix de propriétés dans la Publication 216-2 de la C E I.

Pour que les conditions soient uniformes, il peut être nécessaire de spécifier le conditionnement des éprouvettes à la sortie de l'étuve avant la mesure.

4.2 *Instructions spécifiques pour la détermination de l'IT*

Lorsque des spécifications C E I de matériaux existent, les exigences sur la propriété sont en général exprimées en termes de valeurs limites de l'IT. Si ces spécifications de matériaux n'existent pas, on trouvera dans la Publication 216-2 de la C E I une sélection de propriétés et de méthodes pour l'évaluation de l'endurance thermique. (S'il n'existe pas de telles méthodes, on peut utiliser par ordre de préférence soit une norme nationale ou une norme d'organisme, soit une méthode spécialement développée à cette occasion.)

4.3 *Instructions spécifiques pour la détermination de l'IRT*

Pour la détermination de l'IRT, le matériau de référence choisi, son endurance thermique et le mode de détermination de celle-ci sont d'une importance primordiale.

Le matériau de référence doit avoir un passé satisfaisant en service. Il doit être du même type que le matériau en essai (même numéro de publication de la spécification C E I du matériau isolant, ou même groupe de matériau dans la Publication 216-2 de la C E I, tableau I). Il doit avoir un indice de température connu pour une propriété et pour un point

- c) Subjecting specimens to a diagnostic procedure in order to reveal the degree of ageing. Diagnostic procedures may be non-destructive or destructive determinations of a property, or potentially destructive proof tests. See Clauses 5 and 8.
- d) Continuing the steady heat exposure or the thermal cycling until the specified end-point, i.e. failure of specimens or a specified degree of change in the measured property, is reached. See Clauses 5 and 8.
- e) Reporting the test results in a way depending on the kind of ageing procedure (continuous or cyclic) and diagnostic procedure (see under Item c)): ageing curves, or time or number of cycles to reach the end-point, for each specimen. See Sub-clause 12.3.
- f)* Evaluating these data numerically and presenting them graphically as explained in Clauses 12 and 13.
- g)* Expressing the complete information in abbreviated numerical form as described in Clause 12 by means of the temperature index and halving interval, or the relative temperature index and halving interval.

Condensed examples of complete test procedures with destructive, proof test and non-destructive criteria are given in Clause 11.

4. Selection of test procedures — General guidelines

4.1 *General considerations*

Each test procedure should specify the shape, dimensions and number of the test specimens, the temperatures and times of exposure, the properties to which TI or RTI is related, the methods of their determination, their end-points, and the derivation of the thermal endurance characteristics from the experimental data.

The chosen property should reflect in a significant fashion — if possible — a function of the material in practical use, especially when deriving RTI. A choice of properties is given in IEC Publication 216-2.

To provide uniform conditions, the conditioning of specimens after removal from the oven and before measurement may need to be specified.

4.2 *Specific instructions for determination of TI*

If IEC material specifications are available, property requirements in terms of limiting TI values are usually given. If such material specifications are not available, a selection of properties and methods for the evaluation of thermal endurance is given in IEC Publication 216-2. (If no such method exists, a national or institution standard or a specially devised method should be used, and in that order of preference.)

4.3 *Specific instructions for determination of RTI*

For determinations of RTI the chosen reference material, its thermal endurance and the way it is determined are of central importance.

The reference material shall have a history of satisfactory service. It shall be of the same types as the test material (same publication number of the IEC insulating material specification, or same material group in IEC Publication 216-2, Table I). It shall have a known temperature index for a property and end-point which are essentially the same or at least

limite qui soient essentiellement les mêmes ou du moins raisonnablement semblables à ceux qui sont utilisés pour l'essai de l'IRT. L'IT et l'IDC du matériau de référence doivent être à peu près les mêmes que les valeurs présumées du matériau en essai dans l'essai de l'IRT.

SECTION DEUX — MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

5. Choix des points limites

L'endurance thermique des matériaux doit être caractérisée par différents résultats d'endurance dépendant de la propriété et du point limite choisis, de façon à faciliter la sélection appropriée du matériau en fonction de son application particulière dans un système d'isolation. Voir la Publication 216-5 de la C E I.

Il y a deux façons différentes de définir le point limite:

- a) Comme un pourcentage d'augmentation ou de diminution de la valeur mesurée, à partir du niveau initial. Cette approche fournit des comparaisons entre matériaux mais présente moins de liens qu'au point b) avec les valeurs de la propriété requises en service normal. La valeur absolue de la valeur initiale doit être notée. Pour la détermination de celle-ci, voir l'article 7.
- b) Comme une valeur fixe de la propriété. Cette valeur peut être choisie en fonction des exigences habituelles en service. Les points limites des épreuves (vieillessement cyclique) sont généralement donnés sous forme de valeurs fixes de la propriété.

Il convient de choisir le point limite de façon à mettre en évidence un degré de détérioration du matériau isolant qui ait réduit son aptitude à supporter une contrainte rencontrée en service réel dans un système d'isolation. Le degré de dégradation caractérisé par le point limite de l'essai doit être en rapport avec la valeur de sécurité admissible pour la propriété du matériau souhaitée en pratique.

6. Préparation des éprouvettes d'essai

Les éprouvettes utilisées pour les essais de vieillissement doivent constituer un échantillon prélevé au hasard dans la population étudiée et doivent être traitées uniformément.

On trouve dans les spécifications du matériau ou dans les normes internationales d'essai toutes les instructions nécessaires pour la préparation des éprouvettes.

L'épaisseur des éprouvettes est parfois spécifiée dans la liste des mesures des propriétés pour la détermination de l'endurance thermique. Voir la Publication 216-2 de la C E I. Si ce n'est pas le cas, l'épaisseur doit être notée. Certaines propriétés physiques (par exemple contrainte à la flexion) sont sensibles aux moindres variations d'épaisseur de l'éprouvette. Il peut être nécessaire, dans ce cas, de déterminer et de noter l'épaisseur après chaque période de vieillissement, si cela est requis dans la spécification particulière.

L'épaisseur est importante aussi parce que la vitesse de vieillissement varie avec elle. Les résultats de vieillissement obtenus sur des matériaux d'épaisseur différente ne sont pas toujours comparables. Par conséquent, on peut affecter à un matériau plusieurs caractéristiques d'endurance thermique obtenues à partir de la mesure des propriétés à différentes épaisseurs.

Les tolérances sur les dimensions des éprouvettes doivent être les mêmes que celles qui sont utilisées normalement pour des essais généraux; lorsque les dimensions des éprouvettes exigent des tolérances plus serrées que celles qui sont utilisées normalement, ces tolérances spéciales doivent être indiquées. Des essais de criblage permettent de s'assurer que les éprouvettes sont de qualité uniforme et représentatives du matériau à essayer.

reasonably similar to those to be employed in the RTI test. The TI and HIC of the reference material should be approximately the same as the values expected for the test material in the RTI test.

SECTION TWO — EXPERIMENTAL PROCEDURES

5. Selection of end-points

The thermal endurance of materials needs to be characterized by different endurance data dependent on the chosen property and selected end-point, in order to facilitate the adequate selection of the material in respect of its particular application in an insulation system. See I E C Publication 216-5.

There are two alternative ways in which the end-point may be defined:

- a) As a percentage increase or decrease in the measured value from the original level. This approach will provide comparisons among materials but bears less relationship than Item b) to the property values required in normal service. The absolute value of the original value shall be reported. For its determination, see Clause 7.
- b) As a fixed value of the property. This value might be selected with respect to usual service requirements. End-points of proof tests (cyclic ageing) are predominantly given in the form of fixed values of the property.

The end-point should be selected to indicate a degree of deterioration of the insulating material which has reduced its ability to withstand a stress encountered in actual service in an insulation system. The degree of degradation indicated as the end-point of the test should be related to the allowable safe value for the material property which is desired in practice.

6. Preparation of test specimens

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

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

The thickness of specimens is in some cases specified in the list of property measurements for the determination of thermal endurance. See I E C Publication 216-2. If not, the thickness shall be reported. Some physical properties (for example, flexural strength) are sensitive even to minor variations of specimen thickness. In such cases the thickness after each ageing period may need to be determined and reported if required in the relevant specification.

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

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

Puisque les conditions de préparation peuvent affecter de façon significative les caractéristiques de vieillissement de certains matériaux, on doit admettre que, par exemple, l'échantillonnage, la découpe de la feuille à partir du rouleau d'approvisionnement, la découpe suivant une même direction pour les matériaux anisotropes, le moulage, le traitement, le préconditionnement, etc., soient effectués de la même manière pour toutes les éprouvettes.

Les considérations qui précèdent sont particulièrement importantes dans le cas de la détermination de l'IRT. Les éprouvettes des deux matériaux doivent être essayées dans la même épaisseur.

7. Détermination de la valeur initiale de la propriété et nombre d'éprouvettes

La précision des résultats d'essai d'endurance dépend en grande partie du nombre d'éprouvettes vieilles à chaque température. Des exemples relatifs au nombre d'éprouvettes nécessaires sont donnés dans la Publication 216-3 de la C E I. En général, on applique les instructions ci-dessous, qui ont une influence sur le mode opératoire donné à l'article 11.

C'est une bonne habitude que de préparer des éprouvettes supplémentaires ou du moins de ménager une réserve de matériau du lot original à partir duquel on puisse, par la suite, préparer ces éprouvettes. De cette façon, tout vieillissement d'éprouvettes supplémentaires, exigé à la suite de complications imprévisibles, introduira un risque minimal de faire apparaître des différences systématiques entre les groupes d'éprouvettes. De telles complications peuvent se présenter lorsque la relation d'endurance thermique se trouve être non linéaire ou bien lorsque des échantillons sont perdus par suite de l'emballage d'une étuve.

7.1 Détermination de la valeur initiale de la propriété

Il convient de choisir des éprouvettes utilisées pour la détermination de la valeur initiale de la propriété pour constituer un échantillon prélevé au hasard dans la population totale. Avant la détermination de la valeur de la propriété, ces éprouvettes devront être conditionnées par une exposition pendant deux jours au plus bas niveau des températures de vieillissement de l'essai (voir article 8). Sauf indication contraire dans la méthode pour déterminer la propriété de diagnostic (par exemple dans les parties de spécifications relatives aux isolants, consacrées aux méthodes d'essai, ou une méthode prise dans la liste donnée dans la Publication 216-2 de la C E I), la valeur initiale est égale à la moyenne arithmétique des résultats d'essai.

7.2 Nombre d'éprouvettes pour des critères d'essai destructif

Le nombre N est obtenu comme suit :

$$N = a \cdot b \cdot c + d$$

où :

a est le nombre d'éprouvettes d'un groupe subissant un traitement identique à une température donnée, et mis au rebut après détermination de la propriété (habituellement cinq);

b est le nombre de traitements, c'est-à-dire de durées d'exposition, à une température;

c est le nombre de niveaux de température de vieillissement;

d est le nombre d'éprouvettes du groupe utilisé pour établir la valeur initiale de la propriété. D'habitude on prend $d = 2a$ lorsque le critère de diagnostic est un pourcentage de variation de la propriété à partir de la valeur initiale. Lorsque le critère est une valeur absolue de la propriété, on prend d égal à zéro.

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

The above considerations are of particular importance in the case of RTI determinations. The specimens of both materials shall be tested in the same thickness.

7. Establishment of initial property value and number of test specimens

The accuracy of endurance test results depends largely on the number of specimens aged at each temperature. Examples for an adequate number of specimens are given in I E C Publication 216-3. Generally, the following instructions apply which influence the testing procedure given in Clause 11.

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

7.1 *Establishment of initial property value*

The specimens for the determination of the initial value of the property should be selected to constitute a random sample from the total population. Before determining the property value these specimens should be conditioned by exposure to the lowest level of the ageing temperatures of the test (see Clause 8), for two days. Unless otherwise stated in the reference for determining the diagnostic property (for example, parts of insulation specification dealing with methods of test, or a method listed in I E C Publication 216-2) the initial value is the arithmetic mean of the test results.

7.2 *Number of specimens for destructive test criteria*

This number N is derived as follows:

$$N = a \cdot b \cdot c + d$$

where:

a is the number of specimens in a group undergoing identical treatment at one temperature and discarded after determination of the property (usually five);

b is the number of treatments, i.e. exposure lengths, at one temperature;

c is the number of ageing temperature levels;

d is the number of specimens in the group used to establish the initial value of the property. Normal practice is to select $d = 2a$ when the diagnostic criterion is a percentage change of the property from its initial level. When the criterion is an absolute property level d is given the value of zero.

7.3 Nombre d'éprouvettes pour des critères d'épreuve

Dans la plupart des cas, un groupe d'au moins onze éprouvettes sera nécessaire pour chaque température d'exposition. Pour la détermination graphique et dans quelques autres cas, le traitement des données peut être plus simple si le nombre d'éprouvettes est impair. On trouvera des indications complémentaires dans la feuille 3 de la future Publication 216-3 de la C E I.

Lorsque le critère d'épreuve est fondé sur la valeur initiale de la propriété, celle-ci doit être déterminée à partir d'un groupe d'au moins deux fois onze éprouvettes.

7.4 Nombre d'éprouvettes pour des critères d'essai non destructif

Pour chaque température d'exposition, dans la plupart des cas, un groupe de cinq éprouvettes sera suffisant. Cependant, on trouvera des indications complémentaires dans la feuille 1 de la future Publication 216-3 de la C E I.

8. Températures et durées d'exposition

Selon que l'on détermine l'IT ou l'IRT, on applique des directives différentes pour la sélection des températures et des durées d'exposition. Dans le deuxième cas, il existe déjà un rapport sur l'essai complet de vieillissement du matériau de référence. La méthode de vieillissement répond au but de situer la relation d'endurance thermique du matériau en essai par rapport à celle du matériau de référence qui est connue.

Pour les déterminations de l'IT, les éprouvettes doivent être soumises à trois niveaux de température au moins, quatre de préférence, couvrant une gamme suffisante pour établir la relation d'Arrhénius entre le temps jusqu'à défaillance et l'inverse de la température thermodynamique (absolue). Pour l'évaluation graphique de l'IT, quatre températures sont requises. Pour les déterminations de l'IRT, trois niveaux de température de vieillissement sont acceptables.

Afin de réduire les erreurs dans le calcul de la caractéristique appropriée d'endurance thermique, la gamme globale de températures d'exposition thermique doit être choisie avec soin. Les instructions suivantes doivent être respectées:

a) Lors de la détermination de l'IT, la plus basse température d'exposition doit être choisie pour que la valeur moyenne ou médiane du temps jusqu'à défaillance soit supérieure à 5 000 h. Pour les déterminations de l'IRT, la valeur moyenne ou médiane du temps jusqu'à défaillance doit de préférence être supérieure à 2 000 h tant pour le matériau de référence que pour le matériau en essai.

L'extrapolation nécessaire à la détermination de l'IT ne doit pas excéder 25 K. Pour la détermination de l'IRT une plus grande marge d'extrapolation est acceptable.

b) La plus haute température d'exposition doit être telle que la valeur médiane du temps jusqu'à défaillance ne soit pas inférieure à 100 h.

c) Les intervalles entre les températures d'exposition choisies doivent être égaux, normalement de 20 K, si la gamme entière de températures est supposée conduire aux mêmes mécanismes de vieillissement. Si l'application de cette règle conduit à des changements de mécanisme — comme lorsque l'on dépasse un point de changement d'état tel que la fusion ou le ramollissement — il faudra alors limiter la température maximale d'exposition. Dans de tels cas, et si l'on sait ou que l'on peut supposer que l'IDC est inférieur à 10 K, il peut être nécessaire de réduire la différence entre les niveaux de température de vieillissement, mais de préférence pas à moins de 10 K.

7.3 *Number of specimens for proof test criteria*

In most cases a group of at least eleven specimens for each exposure temperature will be required. For graphical derivation and in some other cases the treatment of data may be simpler if the number of specimens in each group is odd. Further guidance will be found in Sheet 3 of the future I E C Publication 216-3.

Where the proof test criterion is based upon the initial value of the property, it should be determined from a group of specimens of at least twice eleven specimens.

7.4 *Number of specimens for non-destructive test criteria*

For each exposure temperature in most cases a group of five specimens will be adequate. However, further guidance will be found in Sheet 1 of the future I E C Publication 216-3.

8. **Exposure temperatures and times**

Different guidelines apply to the selection of exposure temperatures and times depending on whether TI or RTI is to be determined. In the latter case there already exists a record of a complete ageing test of the reference material. The ageing procedure then serves the purpose of locating the thermal endurance relationship of the test material relative to the known relationship of the reference material.

For TI determinations, test specimens should be exposed to not less than three, preferably to four temperatures covering a sufficient range to establish the Arrhenius relationship between time-to-failure and reciprocal thermodynamic (absolute) temperature. For graphical evaluation of TI four temperatures are required. For RTI determinations, three levels of ageing temperature are acceptable.

To reduce the error in calculating the appropriate thermal endurance characteristic, the overall temperature range of thermal exposure needs to be carefully selected. The following instructions should be observed:

- a) The lowest exposure temperature should be one which will result in a mean or median time-to-failure of more than 5 000 h when determining TI. For RTI determinations the mean or median time-to-failure preferably should exceed 2 000 h for both the reference and the test material.

The extrapolation necessary to establish TI should not be more than 25 K. To derive RTI, a larger margin of extrapolation is acceptable.

- b) The highest exposure temperature should be one which will result in the median time to failure not less than 100 h.
- c) The chosen exposure temperatures should differ by equal intervals, normally by 20 K, if the entire temperature range of the test is expected to produce the same ageing mechanisms. If this rule results in changes of mechanism—as, for example, when a transformation point like melting or softening is exceeded—then the maximum exposure temperature will need to be limited. In such cases, and if the value of HIC is known or expected to be less than 10 K, the difference between the levels of ageing temperature may need to be reduced, but preferably to not less than 10 K.

- d) Le choix des températures d'exposition implique une estimation ou une connaissance préalable de la valeur approximative de l'indice de température ou de l'indice relatif de température du matériau à essayer. Si l'on ne dispose pas d'une telle information, des essais préliminaires de criblage peuvent être effectués pour fournir une prévision de la valeur de l'IT ou de l'IRT.
- e) En ce qui concerne les temps d'exposition, il est judicieux de faire la distinction entre:
- vieillissement continu et vieillissement par cycles;
 - essais destructifs et non destructifs, et épreuves pour la détermination du degré de détérioration.

Pour les épreuves et les essais non destructifs, il est nécessaire de minimiser les erreurs causées par des différences de manipulation, d'essai et de cyclage thermique entre les groupes exposés aux températures d'exposition choisies. Pour y parvenir, choisir les durées de cycle de façon que le temps moyen ou médian jusqu'à défaillance soit atteint au bout de dix cycles environ, mais pas moins de neuf.

Pour les essais non destructifs, bien que le tableau I suggère des durées constantes de cycle, on peut utiliser des durées d'essai en progression géométrique.

Pour les essais destructifs, le vieillissement de chaque groupe essayé est continu et il n'est donc pas nécessaire que les temps moyens jusqu'au point limite, aux différentes températures de vieillissement, soient atteints en des multiples approximativement égaux des durées de cycle données au tableau I. Cependant, le nombre prévu de groupes d'éprouvettes à chaque température (voir paragraphe 7.2) doit être au moins égal à 10. L'intervalle de temps entre les essais des groupes doit être prévu de façon que les résultats d'au moins deux groupes d'éprouvettes soient obtenus avant le temps moyen pour atteindre le point limite et au moins un après: la vitesse de changement de propriété en fonction du temps dans cet intervalle doit être raisonnablement linéaire. Voir paragraphe 11.3 et la Publication 216-3 de la C E I.

Le tableau I permet le choix de températures et de durées de cycle de vieillissement lorsque l'on organise un essai d'endurance. Dans le tableau I, la ligne correspondant à l'IT ou l'IRT présumés propose des durées de vieillissement, exprimées en jours, pour des températures d'étuve qui figurent en tête des colonnes correspondantes. Les premiers résultats d'essai de vieillissement peuvent conduire à modifier les cycles ou les températures de vieillissement.

L'article 11 fournit des instructions appropriées et détaillées sur la façon d'utiliser des critères d'épreuve, ou d'essai destructif ou non destructif.

- f) Une procédure par étapes peut être justifiée lorsqu'un matériau inconnu est soumis à l'essai. Dans ce cas, il est souvent commode de commencer par mettre en étuve de vieillissement la moitié des éprouvettes préparées et d'effectuer des mesures après le deuxième ou le troisième cycle d'exposition des séries recommandées. Après quelques intervalles de temps, les éprouvettes restantes peuvent être mises en place dans l'étuve à leur tour et on peut déterminer les points de la courbe de vieillissement/courbe de variation de la propriété (voir figure 1, page 46) jugés nécessaires.

Une procédure par étapes est également justifiée lorsque la précision envisagée pour l'évaluation nécessite le vieillissement d'éprouvettes supplémentaires, dans le cas, par exemple, où la relation d'endurance thermique se révèle être non linéaire. Si la décision de prolonger le programme original des essais est prise après son achèvement, la durée totale de la procédure peut devenir excessive. Au lieu de cela, on peut estimer grossièrement la tendance de la relation d'endurance thermique après la première ou la deuxième défaillance à la plus basse température de vieillissement du programme original. Lorsque l'on pressent une non-linéarité, on peut alors commencer immédiatement le vieillissement d'un

- d) Selection of the exposure temperatures involves estimating or knowing beforehand the approximate value of the temperature index or the relative temperature index of the material to be tested. If such information is not available preliminary screening tests may be performed to produce a forecast of the value of TI or RTI.
- e) Regarding the exposure times it is advisable to distinguish between:

- cyclic and continuous ageing;
- destructive, non-destructive and proof tests for determination of the degree of deterioration.

For proof tests and non-destructive tests it is necessary to minimize errors caused by differences of handling, testing and thermal cycling between the groups exposed at the selected exposure temperatures. To achieve this, select the cycle length so that the mean or median time-to-failure is reached in about ten cycles but not less than nine.

For non-destructive tests, although Table I suggests constant cycle lengths, test times following a geometric series may be used.

For destructive tests the ageing of each tested group is continuous, and it is therefore not necessary that the mean times to reach the end-point at the different ageing temperatures be reached in approximately equal multiples of the cycle lengths given in Table I. However, the planned number of groups of specimens at each temperature (see Sub-clause 7.2) should be at least 10. The time interval between tests of groups should be planned so that the results of at least two groups of specimens are available before the mean time to reach the end-point, and at least one after: the rate of change of property with time in this interval should be reasonably linear. See Sub-clause 11.3 and I E C Publication 216-3.

Table I serves for the selection of ageing temperatures and cycle durations when planning a thermal endurance test. The row in Table I corresponding to the predicted TI or RTI shows suggested ageing times in days at oven temperatures which appear at the head of the respective columns. Early results of the ageing test may motivate an adjustment of ageing cycles or their temperatures.

Clause 11 provides relevant and detailed instructions on how to proceed using proof test, non-destructive or destructive, criteria.

- f) A sequential procedure may be justified when an unknown material is tested. In such cases it is often convenient to start by loading the ageing oven with one half of the prepared specimens and performing measurements after the second or third exposure cycle of the recommended series. After a few intervals, the remaining specimens can be placed in the oven and the points on the ageing curve/property variation curve (see Figure 1, page 46) deemed necessary determined.

A sequential procedure may also be justified where the envisaged accuracy of the evaluation requires additional specimens to be aged, for example, in the case where the thermal endurance relationship turns out to be non-linear. If the decision to extend the original test programme is taken after its completion the duration of the complete procedure may become prohibitive. Instead, the trend of the thermal endurance relationship may be roughly estimated after the first or second failure at the lowest ageing temperature of the original programme. Ageing at lower temperature of one or two additional group(s) of specimens in case of suspected non-linearity can then be initiated

ou deux groupes supplémentaires à une température inférieure, afin d'obtenir la totalité des résultats dans un délai encore raisonnable. Voir l'annexe C et la Publication 216-3 de la C E I.

9. Etuves de vieillissement

Pendant toute la durée du vieillissement thermique, les étuves de vieillissement doivent maintenir, dans la partie utile où sont placées les éprouvettes, une température dont les tolérances sont données dans la Publication 212 de la C E I jusqu'à ce que la Publication 216-4 de la C E I soit disponible.

La circulation de l'air dans l'étuve et le taux de renouvellement de l'air doivent être suffisants pour s'assurer que la vitesse de dégradation thermique ne soit pas influencée par l'accumulation de produits de décomposition ou l'appauvrissement en oxygène.

Pour la détermination de l'IRT, les éprouvettes du matériau de référence et du matériau en essai doivent être chauffées simultanément dans la même étuve. Des étuves séparées peuvent être utilisées pour chaque température à condition que l'on puisse s'assurer, par des essais appropriés, qu'elles donnent des résultats comparables. Si l'on craint que les produits de décomposition de l'un des matériaux n'affectent l'autre (par exemple si les deux matériaux ne sont pas du même type générique), ils ne devront pas être mis en vieillissement simultanément dans la même étuve. Dans ce cas, on doit apporter le plus grand soin à ce que les deux étuves aient les mêmes caractéristiques de renouvellement en air frais et qu'elles fonctionnent avec les mêmes vitesses de ventilation et les mêmes températures (comme déterminé par des techniques appropriées de calibrage).

10. Conditionnement en environnement

Les effets de conditions d'environnement spéciales, telles qu'une humidité extrême, une contamination chimique ou des vibrations, peuvent dans de nombreux cas être évalués de façon plus appropriée par des essais sur systèmes d'isolation. Cependant, le conditionnement en environnement, l'influence d'atmosphères autres que l'air et l'immersion dans des liquides comme l'huile peuvent être importants.

10.1 Conditions atmosphériques au cours du vieillissement

Le vieillissement est en général effectué dans des étuves fonctionnant dans des atmosphères de laboratoire non régulées; néanmoins, pour certains matériaux très sensibles à l'humidité de l'étuve, des résultats plus fiables sont obtenus lorsque l'humidité absolue de la pièce où est située l'étuve de vieillissement est régulée et égale à l'humidité des conditions normalisées b, décrites dans la Publication 212 de la C E I. Dans ce cas, il faut le noter dans le rapport.

11. Mode opératoire

Cet article décrit les modes opératoires de base pour l'utilisation de:

- a) une épreuve,
- b) un essai non destructif,
- c) un essai destructif.

immediately to produce the complete test data within a time limit which is still acceptable. See Appendix C and I E C Publication 216-3.

9. Ageing ovens

Throughout the heat ageing period, ageing ovens shall maintain, in that part of the working space where specimens are placed, a temperature with tolerances as given in I E C Publication 212 until I E C Publication 216-4 becomes available.

The circulation of the air within the oven, and the exchange of the air content should be adequate to ensure that the rate of thermal degradation is not influenced by accumulation of decomposition products or oxygen depletion.

For the determination of RTI, specimens of both the reference and test material are to be heated simultaneously in the same oven. Separate ovens may be used for each temperature provided that they can be shown by adequate tests to give comparable results. If products of decomposition of one material are suspected of having an adverse effect on the other (e.g., if the two materials are not of the same generic type), they should not be aged simultaneously in the same oven. In that event, the greatest possible care should be taken that the ovens have the same inherent fresh air input characteristics and be operated with the same air velocity and temperature (as determined by appropriate calibration techniques).

10. Environmental conditioning

The effects of special environmental conditions such as extreme humidity, chemical contamination or vibration in many cases may be more appropriately evaluated by insulation systems tests. However, environmental conditioning, the influence of atmospheres other than air and immersion in liquids such as oil may be important.

10.1 *Atmospheric conditions during ageing*

The ageing is usually carried out in ovens operating in uncontrolled laboratory atmosphere; nevertheless, for some materials very sensitive to the humidity in the ovens, more reliable results are obtained when the absolute humidity in the ageing oven room is controlled and equal to the humidity in the standard conditions B according to I E C Publication 212. This has then to be reported.

11. Procedure

This clause relates to the basic procedures for using:

- a) a proof test,
- b) a non-destructive test,
- c) a destructive test.

11.1 Méthode utilisant une épreuve

Prendre le nombre d'éprouvettes approprié à l'épreuve spécifiée (voir paragraphe 7.3) et l'ayant déjà subie avec succès une fois. Par un choix au hasard, les répartir en groupes égaux pour l'exposition cyclique à chaque température. Placer un groupe dans chacune des étuves répondant à l'article 9, maintenues d'aussi près que possible aux températures sélectionnées dans le tableau I, en s'assurant que les températures et durées d'exposition satisfont aux instructions données aux points *a)* et *b)* de l'article 8.

Notes 1. — On suggère de repérer les éprouvettes individuelles pour faciliter leur remise dans la bonne étuve après chaque essai.

2. — Une attention particulière devra être accordée à la recommandation de l'article 7 concernant la préparation d'un groupe d'éprouvettes de réserve pour les raisons données à l'article 8, au point *f)* en particulier, pour être en mesure d'entreprendre assez tôt le vieillissement de nouvelles éprouvettes à un niveau supplémentaire de température.

Enlever toutes les éprouvettes des étuves après chaque cycle de durée associée à ces températures dans le tableau I.

Après chaque retrait, laisser les éprouvettes de chaque étuve se refroidir à la température ambiante, puis les soumettre chacune à l'épreuve spécifiée.

Remettre les éprouvettes qui ont subi avec succès l'épreuve dans leur étuve d'origine, à la même température qu'auparavant et les exposer à un nouveau cycle.

Poursuivre les cycles d'exposition thermique, de refroidissement et d'application de l'épreuve jusqu'à la défaillance de l'éprouvette numéro $(n + 1)/2$, si le nombre d'éprouvettes (n) est impair, ou $1 + n/2$ s'il est pair*. Si les résultats montrent que ce temps jusqu'à défaillance est susceptible d'être atteint en dix périodes d'exposition environ, il n'y a pas lieu de modifier la période d'exposition initialement choisie. Dans le cas contraire, la durée peut être modifiée de sorte que la valeur médiane soit atteinte en dix cycles, sous réserve que cette modification de la durée du cycle intervienne avant le quatrième cycle.

Evaluer les résultats suivant la procédure décrite aux articles 12 et 13 et détaillée dans la Publication 216-3 de la C E I et les noter comme spécifié à l'article 14.

11.2 Méthode utilisant un essai non destructif

Préparer un nombre d'éprouvettes suivant les instructions du paragraphe 7.4. La valeur initiale de la propriété est déterminée comme spécifié au paragraphe 7.1. Par un choix au hasard, répartir les éprouvettes en autant de groupes qu'il y a de températures d'exposition et repérer chaque éprouvette.

Placer un groupe pour l'exposition cyclique dans chacune des étuves répondant à l'article 9, maintenues d'aussi près que possible aux températures sélectionnées dans le tableau I, en s'assurant que les températures et durées d'exposition satisfont aux instructions données aux points *a)* et *b)* de l'article 8; voir aussi le point *e)* de l'article 8.

A l'issue de chaque cycle, retirer les groupes d'éprouvettes de leurs étuves respectives et les laisser se refroidir à la température ambiante.

Soumettre chaque éprouvette à l'essai approprié puis remettre le groupe dans son étuve d'origine, à la même température que précédemment, et l'exposer à un nouveau cycle. Poursuivre les cycles d'exposition thermique, de refroidissement et d'application de l'essai jusqu'à ce que la valeur mesurée atteigne le point limite spécifié et fournisse au moins un point situé au-delà.

* Les cycles d'exposition thermique peuvent être poursuivis jusqu'à la défaillance de toutes les éprouvettes pour permettre une analyse statistique plus complète (voir la Publication 216-3 de la C E I).

11.1 Procedure using a proof test

Take the appropriate number of specimens suited to the proof test specified (see Sub-clause 7.3) and which have successfully withstood it once. Divide by random selection into equal groups for cyclic exposure at each temperature. Place one group in each of the ovens complying with Clause 9, maintained as closely as possible to the temperature selected from Table I, making sure that the exposure temperatures and times satisfy the instructions given in Items *a*) and *b*) of Clause 8.

Notes 1. — It is suggested that individual specimens be identified to simplify their return to the correct oven after each test.

2. — Attention should be given to the recommendation in Clause 7 to prepare an extra group of reserve specimens for the purposes stated in Clause 8, Item *f*) in particular, to be able to initiate early the ageing of new specimens at an additional level of temperature.

Remove all specimens from the ovens at the cycle intervals associated with these temperatures in Table I.

After each removal, allow the specimens from each oven to cool to room temperature and then subject each one to the specified proof test.

Return specimens which have withstood the proof test to the oven from which they came, at the same temperature as before, and expose for a further cycle.

Continue the cycles of temperature exposure, cooling and application of the proof test until the failure of specimen number $(n + 1)/2$ if the number of specimens (n) is odd, or $1 + n/2$ if the number of specimens is even.* If the results show that this time-to-failure is likely to be reached in about ten periods of exposure, there is no need to alter the period of exposure originally selected. If the results do not show this, the period may be changed so that the median result may be expected in ten cycles provided this change in cycle time is made before the fourth cycle.

Evaluate the results as listed in Clauses 12 and 13 and detailed in IEC Publication 216-3, and report them as specified in Clause 14.

11.2 Procedure using a non-destructive test

Prepare a number of specimens following the instructions in Sub-clause 7.4. The initial value of the property is determined as specified in Sub-clause 7.1. Divide the specimens by random selection into as many groups as there are exposure temperatures, and identify each specimen.

Place one group for cyclic exposure in each of the ovens complying with Clause 9, maintained as closely as possible to the temperatures selected from Table I, making sure that the exposure temperatures and times satisfy the instructions of Items *a*) and *b*) in Clause 8, but see also Item *e*) of Clause 8.

At the end of each cycle, remove the group of specimens from the respective oven and allow to cool to room temperature.

Apply the appropriate test to each specimen and then return the group to the oven from which they came, at the same temperature as before, and expose for a further cycle. Continue the cycles of temperature exposure, cooling and application of the test until the measured value reaches the end-point specified and provides at least one plotted point beyond.

* The cycles of temperature exposure may be continued until all specimens have failed to enable a more complete statistical analysis to be made (see IEC Publication 216-3).

Evaluer les résultats suivant la procédure décrite aux articles 12 et 13 et détaillée dans la Publication 216-3 de la CEI, et les noter comme spécifié à l'article 14.

Note. — Voir la note 2 du paragraphe 11.1.

11.3 *Méthode utilisant un essai destructif*

Préparer le nombre d'éprouvettes correspondant à l'essai requis, suivant le paragraphe 7.2. Prélever au hasard le nombre spécifié ($= d$) d'éprouvettes nécessaires à la détermination de la valeur initiale en respectant les instructions appropriées du paragraphe 7.1. La détermination de la valeur initiale s'effectue à température ambiante.

Par un choix au hasard, répartir les éprouvettes restantes en groupes suivant le nombre de températures de vieillissement ($= c$).

Placer un groupe dans chacune des étuves répondant à l'article 9, maintenues d'aussi près que possible aux températures choisies dans le tableau I pour l'exposition continue en s'assurant que les températures et durées d'exposition satisfont aux instructions données aux points *a*), *b*) et *c*) de l'article 8.

Note. — Voir la note 2 du paragraphe 11.1.

Prélever au hasard le nombre d'éprouvettes requis ($= a$) et les retirer de l'étuve après des temps choisis de telle façon que les durées d'exposition forment une séquence convenable. Voir les points *e*) et *f*) de l'article 8 et le tableau I.

Après chaque retrait, laisser le groupe d'éprouvettes se refroidir à la température ambiante. Pour les matériaux pour lesquels on s'attend à une variation notable des propriétés avec la température et l'humidité, conditionner les éprouvettes pendant une nuit dans l'atmosphère normalisée B de la Publication 212 de la CEI, sauf spécification contraire. Faire les essais sur les éprouvettes et porter la moyenne arithmétique (ou une transformée appropriée) des résultats en fonction du temps d'exposition, conformément à la feuille 2 de la future Publication 216-3 de la CEI ou aux spécifications pour matériaux particuliers. Un exemple est donné à la figure 1, page 46. Déduire le temps correspondant au point limite (durée de vie mesurée). Si les résultats montrent que le point limite est susceptible d'être atteint après la période n° 3 ... 8, il n'y a pas lieu de modifier la durée d'exposition choisie à l'origine. Si, après ces périodes, les résultats étaient très supérieurs à ceux qui sont donnés à la figure 1, il serait nécessaire d'augmenter la durée d'exposition de sorte qu'après l'essai du dixième groupe d'éprouvettes, le résultat moyen soit au-delà du point limite.

Evaluer les résultats suivant la procédure décrite aux articles 12 et 13 et détaillée dans la Publication 216-3 de la CEI, et les noter comme spécifié à l'article 14.

SECTION TROIS — ÉVALUATION

12. **Analyse des données d'essai et détermination des caractéristiques d'endurance thermique**

La méthode préférentielle d'évaluation des résultats obtenus pour l'IT est la méthode numérique détaillée dans la Publication 216-3 de la CEI, accompagnée d'une présentation graphique telle que celle qui est indiquée à la figure 2, page 47. Cependant, l'évaluation graphique est utilisée lorsque les exigences statistiques ne sont pas satisfaites ou lorsqu'on la juge préférable pour d'autres raisons. Dans ce cas, les résultats doivent être rapportés en utilisant la température moyenne mesurée de l'étuve.

Pour l'IRT, on peut utiliser l'évaluation graphique ou l'évaluation numérique. Les conditions statistiques de dispersion ne sont pas exigées.

Evaluate the results as listed in Clauses 12 and 13 and detailed in I E C Publication 216-3, and report them as specified in Clause 14.

Note. — See Note 2 in Sub-clause 11.1.

11.3 Procedure using a destructive test

Prepare the number of specimens for the required test according to Sub-clause 7.2. Select the specified number of specimens ($= d$) at random for the establishment of the initial value and observe the respective instructions of Sub-clause 7.1. The determination of the initial value is carried out at room temperature.

Divide the remaining specimens by random selection into groups of specimens according to the number of ageing temperatures ($= c$).

Place one group in each of the ovens complying with Clause 9, maintained as closely as possible to the temperatures selected from Table I for continuous exposure, making sure that the exposure temperatures and times satisfy the instructions given in Items *a*), *b*) and *c*) of Clause 8.

Note. — See Note 2 in Sub-clause 11.1.

Select at random a group of the assigned number ($= a$) of specimens and remove them from the oven after lengths of time so chosen that the exposure times form a suitable sequence. See Items *e*) and *f*) of Clause 8, and Table I.

After each removal, allow the group of specimens to cool to room temperature. For materials in which a significant variation of properties with temperature or humidity is expected, condition the specimens overnight in standard atmosphere B of I E C Publication 212 if not otherwise specified. Test the specimens and plot the arithmetic mean of the results (or a suitable transform thereof) against exposure time as given in Sheet 2 of the future I E C Publication 216-3 or individual material specifications. An example is given in Figure 1, page 46. Read off the time corresponding to the end-point (measured life). If the results show that the end-point is likely to be reached after period No. 3 ... 8, there is no need to alter the period of exposure originally selected. Had the results after these periods been much higher than those shown in Figure 1, it would have been necessary to increase the period so that when the tenth group of specimens has been tested, the mean result is beyond the end-point.

Evaluate the results as listed in Clauses 12 and 13 and detailed in I E C Publication 216-3, and report as specified in Clause 14.

SECTION THREE — EVALUATION

12. Analysis of test data and determination of thermal endurance characteristics

The preferred method of evaluation of TI results is by the numerical procedure detailed in I E C Publication 216-3 together with a graphical presentation as shown in Figure 2, page 47. However, graphical evaluation is employed when the statistical requirements are not satisfied or when it is felt desirable for other reasons. In this case the results shall be plotted using the average measured temperature of the oven.

For RTI either graphical or numerical evaluation may be used. The statistical dispersion conditions are not required.

12.1 Caractéristiques d'endurance thermique

Les caractéristiques d'endurance thermique sont:

l'indice de température	IT,
ou l'indice relatif de température	IRT,
et l'intervalle de division par deux	IDC,

voir les paragraphes 12.2, 12.7.

L'endurance thermique d'un matériau isolant électrique est toujours donnée pour une propriété et un point limite spécifiques. Si l'on ne tient pas compte de cela, toute référence à des propriétés d'endurance thermique cesse d'être significative.

12.1.1 Indice de température IT

Lorsque la détermination est faite par la méthode *numérique* et que les *conditions statistiques* concernant la linéarité et la dispersion *sont remplies*, la présentation est la suivante:

IT (IDC): valeur de l'IT (valeur de IDC),
par exemple: IT (IDC): 152 (9).

Lorsque la détermination est graphique ou que les conditions statistiques ne sont pas remplies, la présentation est la suivante:

$IT_g = \dots, IDC_g = \dots,$
par exemple: $IT_g = 152, IDC_g = 9.$

Si une durée différente de 20 000 h a été utilisée pour obtenir l'IT, on doit noter la durée en question et l'exprimer en kh, suivie de «kh». La présentation de l'IT est alors:

IT (durée en kh) kh (IDC): ... (...),
par exemple: IT 40 kh (IDC): 131(10)
et de même pour l' IT_g .

12.1.2 Indice relatif de température (IRT)

L'IRT est présenté sous la forme:

IRT = ..., IDC = ...,
par exemple: IRT = 152, IDC = 9.

Ici, la valeur de l'IRT est le nombre obtenu selon le paragraphe 12.7, équation (4), et la valeur de l'IDC: IDC (A) du même paragraphe. Cette présentation est utilisée, que l'IRT soit obtenu numériquement ou graphiquement.

12.2 Évaluation numérique de l'IT

L'analyse numérique complète des valeurs mesurées comprend les étapes suivantes:

- Déterminer le temps pour atteindre le point limite pour chaque éprouvette (appelé par la suite temps jusqu'à défaillance *), voir paragraphe 12.3.
- Pour la présentation graphique, selon le cas, calculer soit la valeur moyenne soit la valeur médiane des logarithmes des temps jusqu'à défaillance obtenus pour chaque niveau de température.

* Le terme «temps jusqu'à défaillance» est utilisé pour la commodité sans aucune relation avec la défaillance réelle de l'isolation en service.

12.1 Thermal endurance characteristics

The thermal endurance characteristics are:

the Temperature Index	TI,
or the Relative Temperature Index	RTI,
and the Halving Interval	HIC,
see Sub-clauses 12.2, 12.7.	

The thermal endurance of an electrical insulating material is always given for a specific property and end-point. If this is disregarded any reference to thermal endurance properties ceases to be meaningful.

12.1.1 Temperature Index TI

Where the derivation is by the *numerical method and the statistical conditions concerning linearity and dispersion are satisfied*, the format is:

TI (HIC): TI value (HIC value),
for example: TI (HIC): 152 (9).

Where the derivation is *graphical or the statistical conditions are not satisfied*, the format is:

$TI_g = \dots$, $HIC_g = \dots$,
for example: $TI_g = 152$, $HIC_g = 9$.

If a time different from 20 000 h has been used for deriving the TI the relevant time expressed in kh shall be stated, followed by "kh". The format of the TI is then:

TI (time in kh) kh (HIC): ... (...),
for example: TI 40 kh (HIC): 131(10).
and correspondingly for TI_g .

12.1.2 Relative Temperature Index (RTI)

RTI is reported in the format:

RTI = ..., HIC = ...,
for example: RTI = 152, HIC = 9.

Here, the RTI value is the number derived as in Sub-clause 12.7, eq. (4), and the HIC value HIC (A) of the same sub-clause. This format applies whether RTI is derived numerically or graphically.

12.2 Numerical evaluation of TI

The complete numerical analysis of the measured values of the following steps:

- Determine the time to reach the end-point for each specimen (in the following called time-to-failure*), see Sub-clause 12.3.
- For the graphical presentation, calculate either the mean or the median of the logarithms of the times-to-failure obtained at each temperature level, as appropriate.

* The term "time-to-failure" is used for the sake of convenience without any implication with regard to actual insulation failure in service.

- c) Effectuer l'analyse de régression et l'analyse de variance détaillées dans la Publication 216-3 de la C E I. L'analyse par régression linéaire est effectuée pour obtenir la relation:

$$y = a + bx \quad (1)$$

où:

y = logarithme décimal du temps jusqu'à défaillance,
 x = inverse de la température thermodynamique (absolue),
 a et b = coefficients de régression.

- d) Tracer le graphique d'endurance thermique, voir paragraphe 12.4.

- e) Déduire l'indice de température IT pour un temps donné, normalement égal à 20 kh. Dans le cas de 20 kh, l'IT doit être calculé à partir de l'équation de régression:

$$IT = b/(\lg 20\ 000 - a) - 273 \quad (2)$$

Si un autre temps que 20 kh est utilisé pour obtenir l'IT, ce temps doit être inclus dans l'équation (2). Le nombre de kh doit être ajouté après IT, comme indiqué au paragraphe 12.1.

- f) Déduire l'intervalle de division par deux IDC, qui est une mesure de la pente de la courbe d'endurance thermique; sa connaissance est utile pour de nombreuses raisons, par exemple, la comparaison de matériaux à des températures ou des durées différentes. La pente est exprimée au moyen de l'intervalle de division par deux, déduit de la relation d'endurance thermique au temps correspondant à l'IT ou l'IRT et à la moitié de ce temps. L'IDC peut aussi être déduit de l'IT et du coefficient de régression b au moyen de l'équation:

$$IDC \approx (IT + 273)^2 \cdot \lg 2/b \quad (3)$$

Les résultats obtenus par ces deux méthodes, bien que non identiques, sont très proches les uns des autres.

D'autres formules se rapportant au calcul de l'intervalle de division par deux sont données dans l'annexe B.

- g) Si les vérifications statistiques mentionnées au paragraphe 12.5 donnent un résultat satisfaisant, reporter l'IT (IDC), sinon reporter l'IT_g et l'IDC_g.

12.3 Détermination du temps pour atteindre le point limite à chaque température

- a) Pour les essais utilisant une épreuve comme point limite, le temps jusqu'à défaillance d'une éprouvette donnée est pris égal au temps à l'issue duquel cette éprouvette ne passe pas avec succès l'épreuve, diminué de la moitié de la durée du cycle précédant la défaillance. Les résultats d'essai sont notés comme indiqué dans la Publication 216-3 de la C E I.

Une des méthodes consiste à fonder l'évaluation sur la moyenne des logarithmes des temps jusqu'à défaillance de toutes les éprouvettes. Une autre méthode consiste à fonder l'évaluation sur le logarithme du temps médian jusqu'à défaillance. Le temps médian jusqu'à défaillance d'un groupe de n éprouvettes, lorsque n est impair, est le temps jusqu'à défaillance de l'éprouvette $(n + 1)/2$. Si n est pair, la valeur moyenne des temps jusqu'à défaillance de l'éprouvette $n/2$ et de l'éprouvette $1 + n/2$ est considérée comme temps médian jusqu'à défaillance du groupe.

Cette méthode permet d'interrompre l'exposition à n'importe quelle température lorsque la moitié des éprouvettes au moins ont eu un défaut à cette température.

- b) Les essais utilisant une mesure de la variation d'une propriété en fonction du temps impliquent des mesures périodiques de la propriété choisie. Les résultats des essais sont notés comme indiqué dans la Publication 216-3 de la C E I. La variation de la propriété en fonction du temps est représentée par des courbes de vieillissement comme indiqué à la figure 1, page 46, dont on déduit les temps jusqu'à défaillance.

- c) Carry out the regression and variance analysis detailed in IEC Publication 216-3. The linear regression analysis is performed to obtain the relationship:

$$y = a + bx \quad (1)$$

where:

y = logarithm of time-to-failure,
 x = reciprocal thermodynamic (absolute) temperature,
 a and b = the regression coefficients.

- d) Draw the thermal endurance graph, see Sub-clause 12.4.
 e) Derive the temperature index TI at a given time, normally 20 kh. In the case of 20 kh, TI shall be calculated from the regression equation:

$$TI = b/(\lg 20\,000 - a) - 273 \quad (2)$$

If any other time than 20 kh is used for obtaining TI, this time shall be inserted in eq. (2). The number of kh shall be added after TI as shown in Sub-clause 12.1.

- f) Derive the halving interval HIC which is a measure for the slope of the thermal endurance graph; its knowledge is helpful for many purposes, for example, comparison of materials at different temperatures or times.

The slope is expressed by means of the halving interval derived from the thermal endurance relationship at the time corresponding to the TI or RTI and one half of this value. HIC may also be derived from the regression coefficient b and TI by means of the equation:

$$HIC = (TI + 273)^2 \cdot \lg 2/b \quad (3)$$

The results produced by the two methods, although not identical, are very close to each other.

Other formulae pertaining to the derivation of the halving interval are given in Appendix B.

- g) If the statistical verifications mentioned in Sub-clause 12.5 produce a satisfactory result, report TI_g (HIC). Otherwise, report TI_g and HIC_g .

12.3 Determination of the time to reach the end-point criterion at each temperature

- a) For tests using a proof test as the end point, the time-to-failure of a given specimen is taken as the time at which that specimen failed to pass the proof test, minus half the duration of the cycle just prior to failure. The test data are reported as shown in IEC Publication 216-3.

One procedure is to base the evaluation on the mean of the logarithms of the time-to-failure of all specimens. An alternative is to base the evaluation on the logarithms of the median time-to-failure. The median time-to-failure of a group of n specimens is when $(n + 1)/2$ specimens have failed when n is odd. If n is even, the mean value of the time-to-failure of specimen $n/2$ and of specimen $1 + n/2$ is taken as the median time-to-failure of the group.

This procedure makes it possible to stop the exposure at any one temperature, when at least half the specimens have failed at that temperature.

- b) Where the test employs measurements of the variation of a property versus time, periodic measurements of the selected property are involved. The test data are reported as shown in IEC Publication 216-3. The variation of property with respect to time is shown on ageing curves as in Figure 1, page 46, from which times-to-failure may be obtained.

Dans le cas des *mesures non destructives*, les temps jusqu'à défaillance sont déduits directement de la courbe individuelle de vieillissement de chaque éprouvette.

Dans le cas des *mesures destructives*, des temps jusqu'à défaillance *présumés* sont déduits par analyse de régression comme indiqué dans la Publication 216-3 de la C E I.

12.4 *Tracé du graphique d'endurance thermique*

Tracer les temps jusqu'à défaillance sur un graphique en portant en ordonnée le logarithme du temps et en abscisse l'inverse de la température thermodynamique (absolue). Il existe un papier graphique spécial sur lequel les résultats peuvent être portés directement.

12.5 *Évaluation statistique des résultats d'essai*

Des méthodes statistiques servent à vérifier que les résultats d'essai respectent des tolérances spécifiées relatives à leur dispersion et à leur écart de linéarité. Ces méthodes et critères sont décrits en détail dans la Publication 216-3 de la C E I.

Si les résultats d'essai satisfont aux critères des vérifications statistiques, l'IT est déterminé suivant le paragraphe 12.6. Sinon, on applique les méthodes décrites à l'article 13.

L'expression sous la forme de IT (IDC) signifie toujours que cela a été obtenu à partir de résultats d'essai qui satisfont à ces exigences statistiques. Sinon, on donne IT_g et IDC_g ou bien les résultats d'essai sont présentés directement sans caractéristiques d'endurance thermique.

L'IRT n'implique pas la conformité à des exigences statistiques.

12.6 *Évaluation graphique de l'IT*

Pour obtenir une évaluation graphique convenable de l'IT, le nombre d'éprouvettes d'essai doit être approximativement égal dans tous les groupes de température. De plus amples informations, ainsi que la méthode à suivre en cas d'inégalité, figurent dans la feuille 1 de la future Publication 216-3 de la C E I.

Déterminer par la méthode appropriée, voir paragraphe 12.3, le temps moyen estimé jusqu'au point limite pour chacune des quatre températures.

Tracer la courbe d'endurance thermique, voir le paragraphe 12.4, et en déduire l'IT et l'IDC. Noter IT_g et IDC_g .

12.7 *Détermination de l'indice relatif de température*

L'indice relatif de température IRT résultant des essais comparatifs du matériau d'essai et du matériau de référence se compose de deux nombres, l'un représentant la température déduite de l'équation (4):

$$IRT = IT_r + (T_A - T_B) \quad (4)$$

et l'autre l'intervalle de division par deux qui lui est associé.

La détermination peut être numérique ou graphique; si elle est numérique, appliquer les étapes *a)*, *b)* et *d)* du paragraphe 12.2; si elle est graphique, voir la figure 3, page 48. Les détails sont donnés dans la Publication 216-3 de la C E I.

Dans cette équation et dans la figure 3, les symboles suivants sont utilisés:

- IT_r IT original du matériau de référence;
- t_o temps correspondant à IT_r ;
- A point de la relation ou du graphique d'endurance thermique du matériau en essai, obtenu à partir de l'essai comparatif, de coordonnées: T_A , t_o ;

For *non-destructive measurements*, the times-to-failure result directly from the individual real ageing curve of each specimen.

For *destructive measurements*, supposed times-to-failure are derived based on regression analysis as shown in I E C Publication 216-3.

12.4 Drawing the thermal endurance graph

Plot the times-to-failure on a graph with the logarithm of time as the ordinate and the reciprocal of the thermodynamic (absolute) temperature as the abscissa. Special graph paper is available on which the data may be plotted directly.

12.5 Statistical evaluation of test data

Statistical procedures serve to verify that the test data satisfy specified tolerances regarding their dispersion and departure from linearity. These procedures and criteria are described in detail in I E C Publication 216-3.

If the test data satisfy the criteria of the statistical verifications, TI is determined according to Sub-clause 12.6. Otherwise, the procedures in Clause 13 are applicable.

The expression of TI (HIC) is always indicative that it is obtained from test data that satisfy these statistical requirements. Otherwise, TI_g and HIC_g are given, or the test data are presented directly without thermal endurance characteristics.

RTI does not imply compliance with any statistical requirements.

12.6 Graphical evaluation of TI

For the graphical evaluation of TI to be relevant, the number of test specimens in all temperature groups should be approximately equal. Further guidance on this and the procedure in case of inequality will be found in Sheet 1 of the future I E C Publication 216-3.

Determine by the appropriate procedure, see Sub-clause 12.3, the estimated mean time to end-point at each of four temperatures.

Draw the thermal endurance graph, see Sub-clause 12.4, and from it derive TI and HIC. Report TI_g and HIC_g .

12.7 Determination of the relative temperature index

The relative temperature index RTI resulting from the comparative testing of the test material and the reference material consists of two figures, one representing the temperature derived using eq. (4):

$$RTI = \dot{T}I_r + (T_A - T_B) \quad (4)$$

and the other the associated halving interval.

The derivation may be numerical or graphical; if numerical, then apply steps *a)*, *b)* and *d)* of Sub-clause 12.2, if graphical, follow Figure 3, page 48. Details are given in I E C Publication 216-3.

In the derivation and in Figure 3 the following notation is used:

- TI_r the original TI of the reference material;
- t_o the time corresponding to TI_r ;
- A a point on the test material's thermal endurance relationship or graph from the comparative test, coordinates: T_A , t_o ;

- B** point de la relation ou du graphique d'endurance thermique du matériau de référence, de coordonnées: T_B, t_0 ;
- IDC_r** IDC du matériau de référence correspondant au point IT_r de sa relation ou de son graphique d'endurance thermique d'origine;
- IDC (A)** IDC pour le matériau en essai au point A;
- IDC (B)** IDC pour le matériau de référence au point B.

Les points A et B peuvent être déterminés soit graphiquement soit numériquement. La valeur de l'IRT est exprimée selon la présentation du paragraphe 12.1.2 avec la valeur de l'intervalle de division par deux IDC (A).

Lorsque l'on exprime l'IRT, les informations habituelles relatives à la propriété, au point limite et aux données de l'éprouvette devront être complétées par les informations appropriées concernant le matériau de référence.

Note. — Les critères nécessaires pour exécuter les directives données au paragraphe 4.3 sont à l'étude et paraîtront dans une feuille correspondante de la future Publication 216-3 de la C E I.

13. Traitement et présentation de résultats d'essai ne satisfaisant pas aux exigences statistiques

La détermination des caractéristiques d'endurance thermique IT (IDC) exige que les résultats d'essai satisfassent aux vérifications statistiques citées au paragraphe 12.5 et détaillées dans la Publication 216-3 de la C E I. Lorsque ces exigences ne sont pas satisfaites, il peut être encore possible de récupérer les résultats d'essais prolongés grâce à une évaluation et à des essais supplémentaires.

Les résultats d'essai peuvent faillir complètement à ces exigences pour des raisons qui peuvent être classées dans les catégories suivantes:

- Dispersion des résultats d'essai
 - Dispersion générale
 - Points aberrants
- Relation d'endurance thermique non linéaire.

Voir l'annexe C.

On trouvera dans la Publication 216-3 de la C E I une description et une explication complètes d'une méthode d'évaluation.

14. Procès-verbal d'essai

Le procès-verbal d'essai doit comprendre:

- la description du matériau essayé et des éprouvettes d'essai (y compris du matériau de référence si un IRT est déterminé);
- les valeurs originales de l' IT et de l' IDC du matériau de référence, s'il y a lieu;
- la propriété étudiée;
- la méthode d'essai utilisée pour la détermination de la propriété (par exemple, par référence à une publication de la C E I), y compris les dimensions et s'il y a lieu le conditionnement des éprouvettes;
- le point limite choisi et, si celui-ci est exprimé par un pourcentage de variation, la valeur initiale de la propriété;
- les renseignements relatifs à la méthode de vieillissement: température, conditions d'environnement, etc.;

- B** a point on the reference material's thermal endurance relationship or graph, coordinates: T_B, t_0 ;
- HIC_r** HIC for the reference material at point **TI_r** of its original thermal endurance relationship or graph;
- HIC (A)** HIC for the test material at point **A**;
- HIC (B)** HIC for the reference material at point **B**.

The points **A** and **B** may be determined either graphically or numerically. The RTI value is given in the format as in Sub-clause 12.1.2 together with the halving interval value HIC (A).

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

Note. — The criteria necessary to implement the guidelines given in Sub-clause 4.3 are under consideration and will appear in the appropriate sheet of the future I E C Publication 216-3.

13. Treatment and presentation of test data which fail to satisfy the statistical requirements

The derivation of the thermal endurance characteristics **TI** (**HIC**) requires the test data to pass the statistical verifications which are stated in Sub-clause 12.5 and detailed in I E C Publication 216-3. When these requirements are not satisfied it may still be possible to salvage the results of prolonged testing through additional evaluation and tests.

The data may fail completely to satisfy these requirements for reasons which may be suitably categorized as follows:

- Dispersion of test data
 - General dispersion
 - Individual outliers
- Non-linear thermal endurance relationship.

See Appendix C.

A complete description and explanation of an evaluation procedure is given in I E C Publication 216-3.

14. Test report

The test report should include:

- a description of the tested material and test specimens (including the reference material if an RTI is derived);
- the original **TI** and **HIC** values of the reference material, when applicable;
- the property investigated;
- the test method used for the determination of the property (for example, by reference to an I E C publication), including dimensions and any conditioning of the specimens;
- the end-point selected and, if this is a percentage change, the initial value of the property;
- information regarding the ageing procedure: temperature, environment, etc.;

- les temps individuels jusqu'à défaillance pour chaque température d'essai;
- les graphiques de variation de la propriété en fonction de la durée de vieillissement pour chaque température de vieillissement;
- le nombre et la durée des cycles de vieillissement pour les épreuves;
- les coefficients de régression a et b ;
- le(s) graphique(s) d'endurance thermique;
- l'indice de température et l'intervalle de division par deux, ou l'indice relatif de température et l'intervalle de division par deux, déterminés conformément aux paragraphes 12.2, 12.6 et 12.7 et exprimés sous la forme décrite au paragraphe 12.1, comprenant le temps pris en compte pour la détermination de l'IT ou l'IRT lorsqu'il diffère de 20 kh.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60216-1:1987

Withdrawn

- the individual times-to-failure at each test temperature;
- graphs of the variation of property with ageing time for each ageing temperature;

- the number and duration of ageing cycles for proof tests;
- the regression coefficients a and b ;
- the thermal endurance graph(s);
- the temperature index and the halving interval, or the relative temperature index and the halving interval, derived in accordance with Sub-clauses 12.2, 12.6 and 12.7 and expressed as stated in Sub-clause 12.1, including the time used for deriving the TI or RTI if different from 20 kh.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60216-1:1987

Withdrawn

ANNEXE A

NOTES SUR LES MÉCANISMES DE DÉGRADATION THERMIQUE

Le modèle sur lequel sont fondés les essais d'endurance thermique des matériaux isolants électriques selon cette norme suppose que soit applicable la théorie des processus de réaction chimique dont la vitesse est activée thermiquement. Ce modèle est valable lorsque le point limite choisi de la propriété servant au diagnostic est lié à un degré déterminé de transformation moléculaire du matériau soumis au vieillissement. La validité de ce modèle ne dépend donc pas de la condition plus contraignante de l'existence d'une relation linéaire entre le niveau de la propriété servant au diagnostic et le degré de transformation moléculaire.

Outre l'hypothèse de base mentionnée ci-dessus, d'autres hypothèses générales relatives aux mécanismes chimiques du vieillissement thermique doivent être remplies.

- a) Le matériau ou la combinaison simple de matériaux doit être homogène au sens macroscopique du terme.
- b) La dégradation thermique doit se produire en phase homogène. Le mécanisme doit être une réaction chimique du premier ordre, telle qu'une rupture chimique de constituants, une dépolymérisation, etc. La libération et la volatilisation de produits de dégradation de faible poids moléculaire sont le plus souvent négligeables, et, par conséquent, on peut n'en pas tenir compte.

Des réactions chimiques du second ordre conduisent également à une relation linéaire du type Arrhénius, lorsqu'elles se produisent essentiellement en phase homogène, comme une polymérisation moléculaire continue. L'oxydation en tant que réaction typique du second ordre en phase hétérogène peut ne pas causer de perturbation à la relation décrite, si l'oxydation est limitée à la surface d'une éprouvette relativement épaisse ou si, en raison de la faible épaisseur de l'éprouvette, elle peut être considérée comme homogène.

- c) La réaction de vieillissement doit être essentiellement irréversible.

APPENDIX A

NOTES ON MECHANISMS OF THERMAL DEGRADATION

The model upon which the thermal endurance testing of electrical insulating materials according to this standard is based is the applicability of the theory of thermally activated chemical rate processes. This model is valid when the selected end-point of the diagnostic property is correlated with a particular degree of molecular change in the material which is subject to ageing. The validity of the model is, thus, not dependent on the more stringent condition of a linear relationship between the level of the diagnostic property and the degree of molecular change.

In addition to the above mentioned basic assumption, some general assumptions regarding the chemical mechanisms of the thermal ageing must be satisfied.

- a) The material or combination of materials should be uniform in the macro-physical sense.
- b) The thermal degradation should proceed in a homogeneous phase. The mechanism should be a first order chemical reaction like chemical breakdown of constituents, depolymerization, etc. The liberation of low-molecular degradation products and their volatilization are mostly negligible in this regard and can, therefore, be disregarded.

Second order chemical reactions also produce a linear Arrhenius relationship if they proceed essentially in a homogeneous phase, like a continuing molecular polymerization. Oxidation as a typical second order reaction in a heterogeneous phase may not cause any disturbance in respect of the described relationship if the oxidation is limited to the surface of a relatively thick specimen or if it can be taken to be homogeneous due to the specimen being thin enough.

- c) The ageing reaction should be essentially irreversible.

ANNEXE B

INTERVALLE DE DIVISION PAR DEUX

L'intervalle de division par deux est une mesure de la pente de la relation d'Arrhénius, traditionnellement utilisée dans l'estimation de l'influence des changements de température sur la durée de vie résiduelle d'une isolation électrique (Loi de Montsinger). L'intervalle de division par deux est également très utile dans de nombreux autres cas.

La forme théorique correcte est l'intervalle de division par deux de l'inverse de la température thermodynamique (absolue) IDK qui est :

$$\text{IDK} = \lg 2/b \quad (\text{B-1})$$

où b est la pente de la droite de régression $y = a + b \cdot x$ représentant une relation linéaire d'Arrhénius (y - logarithme du temps jusqu'au point limite, x - inverse de la température thermodynamique (absolue) $1/T = 1/(273 + \Theta)$).

Cependant, la forme la plus pratique pour l'ingénieur est l'intervalle de division par deux de la température en degrés Celsius IDC. Il peut être déduit de IDK :

$$\text{IDC} \simeq T_r^2 \cdot \text{IDK} \quad (\text{B-2})$$

Cette proportionnalité est rigoureusement valable à une température de référence choisie T_r . Dans cette partie, T_r est par définition la température absolue correspondant à l'IT ou l'IRT. Alors que l'IDK est le même partout sur un graphique d'endurance thermique linéaire, l'IDC varie avec la température.

L'endurance thermique est parfois exprimée au moyen des valeurs à 20 kh et 5 kh, Θ_{20} et Θ_5 , de la relation d'endurance thermique. C'est le cas en particulier lorsque l'on donne le PET conformément à la deuxième édition de la Publication 216-1 de la C E I. L'intervalle de division par deux peut être déduit des valeurs Θ_{20} et Θ_5 par la relation :

$$\text{IDK} = (1/T_{20} - 1/T_5)/2 \quad (\text{B-3})$$

Il convient d'éviter de prendre pour l'IDC la relation en apparence évidente $(\Theta_5 - \Theta_{20})/2$, qui ne conduit pas, en général, à une estimation satisfaisante.

Une estimation correcte peut être obtenue en remplaçant T_r par T_{20} dans l'équation (B-2), ce qui donne pour résultat :

$$\text{IDC} \simeq (T_{20}/T_5) \cdot (\Theta_5 - \Theta_{20})/2 \quad (\text{B-4})$$

APPENDIX B

THE HALVING INTERVAL

The halving interval is a measure of the slope of the Arrhenius relationship which has a firm tradition of application for purposes of estimating the influence of temperature changes on the remaining life of electrical insulation (Montsinger's rule). The halving interval is very useful for several other purposes as well.

The theoretical correct form is the halving interval of reciprocal thermodynamic (absolute) temperature HIK which is:

$$\text{HIK} = \lg 2/b \quad (\text{B-1})$$

when b is the slope of the regression line $y = a + b \cdot x$ representing a linear Arrhenius relationship (y – logarithm of time-to-end-point, x – reciprocal thermodynamic (absolute) temperature $1/T = 1/(273 + \Theta)$).

The practical engineering form, however, is the halving interval of Celsius temperature HIC. It can be derived from HIK:

$$\text{HIC} \simeq T_r^2 \cdot \text{HIK} \quad (\text{B-2})$$

This proportionality refers to a selected reference temperature T_r . In this Part, T_r is by definition the absolute temperature corresponding to TI or RTI. While HIK is the same everywhere on a linear thermal endurance graph, HIC changes with temperature.

Thermal endurance is sometimes expressed by means of, at least, the 20 kh and the 5 kh figures Θ_{20} and Θ_5 of the thermal endurance relationship. This is particularly the case when TEP is given in accordance with the second edition of IEC Publication 216-1. The halving interval can be derived from the figures Θ_{20} and Θ_5 as follows:

$$\text{HIK} = (1/T_{20} - 1/T_5)/2 \quad (\text{B-3})$$

The apparently evident derivation of HIC as $(\Theta_5 - \Theta_{20})/2$ should not be used as it will not generally produce a good estimate.

This however, is achieved by applying eq. (B-2) with the value T_{20} for T_r , which results in:

$$\text{HIC} \simeq (T_{20}/T_5) \cdot (\Theta_5 - \Theta_{20})/2 \quad (\text{B-4})$$