

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 216-1

Deuxième édition — Second edition

1974

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

Première partie: Méthodes générales pour la détermination des propriétés d'endurance thermique,
des indices de température et des profils d'endurance thermique

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

Part 1: General procedures for the determination of thermal endurance properties,
temperature indices and thermal endurance profiles



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

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**
Publié trimestriellement
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), 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 V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres 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**
Published quarterly
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), 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 I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

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

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 216-1

Deuxième édition — Second edition

1974

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

Première partie : Méthodes générales pour la détermination des propriétés d'endurance thermique,
des indices de température et des profils d'endurance thermique

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

Part 1: General procedures for the determination of thermal endurance properties,
temperature indices and thermal endurance profiles



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

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Considérations générales	8
4. Choix des méthodes d'essai et des éprouvettes	10
5. Choix des critères de dégradation	12
6. Préparation des éprouvettes	12
7. Nombre d'éprouvettes	12
8. Températures et durées d'exposition	14
9. Etuves de vieillissement	16
10. Conditions d'environnement	18
11. Analyse des résultats d'essais et détermination de l'indice de température ou du profil d'endurance thermique	18
12. Procès-verbal d'essai	22
FIGURES	27

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. General considerations	9
4. Selection of test procedures and specimens	11
5. Selection of end points	13
6. Preparation of test specimens	13
7. Number of test specimens	13
8. Exposure temperatures and times	15
9. Ageing ovens	17
10. Environmental conditioning	19
11. Analysis of test data and determination of the temperature index or of the thermal endurance profile	19
12. Test report	23
FIGURES	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

**Première partie : Méthodes générales pour la détermination des propriétés
d'endurance thermique, des indices de température et des profils d'endurance thermique**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI 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 CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Sous-Comité 15B: Essais d'endurance, du Comité d'Etudes N° 15 de la CEI: Matériaux isolants.

La présente recommandation constitue la première partie de la deuxième édition de la Publication 216 de la CEI, qui sera publiée en trois parties.

Des projets de révision de cette première partie furent discutés lors des réunions tenues à Varsovie en septembre 1967, à Londres en septembre 1968, à Washington en mai 1970 et à Vienne en octobre 1971. A la suite de cette dernière réunion un projet, documents 15B(Bureau Central)25 et 25A, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1972.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Allemagne	Norvège
Australie	Portugal
Belgique	Roumanie
Canada	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Israël	Union des Républiques
Italie	Socialistes Soviétiques
Japon	Yougoslavie

Les Etats-Unis d'Amérique et le Royaume-Uni ont d'abord voté contre le projet, mais après que celui-ci ait subi un remaniement rédactionnel, se sont prononcés en faveur de la publication.

La présente édition de la Publication 216 de la CEI annule et remplace les sections de la Publication 85 de la CEI qui concernent les matériaux isolants.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

**Part 1: General procedures for the determination of thermal endurance properties,
temperature indices and thermal endurance profiles**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC 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 IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This recommendation has been prepared by Sub-Committee 15B, Endurance Tests, of IEC Technical Committee No. 15, Insulating Materials.

This recommendation constitutes Part 1 of the second edition of IEC Publication 216, which will be published in three parts.

Drafts for the revision of this first part were discussed at the meetings held in Warsaw in September 1967, in London in September 1968, in Washington in May 1970 and in Vienna in October 1971. As a result of this latter meeting, a draft, documents 15B(Central Office)25 and 25A, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1972.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Norway
Belgium	Portugal
Canada	Romania
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
Finland	Turkey
France	Union of Soviet
Germany	Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America
Japan	Yugoslavia

The United States of America and the United Kingdom at first voted against the draft, but after the latter had been amended editorially, they then voted in favour of publication.

This edition of IEC Publication 216 cancels and supersedes the sections of IEC Publication 85 dealing with insulating materials.

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

Première partie : Méthodes générales pour la détermination des propriétés d'endurance thermique, des indices de température et des profils d'endurance thermique

INTRODUCTION

La révision de la première édition de la Publication 216 de la CEI: Guide pour la préparation des méthodes d'essai pour l'évaluation de la stabilité thermique des matériaux isolants électriques, comportera trois parties:

Première partie: Méthodes générales pour la détermination des propriétés d'endurance thermique, des indices de température et des profils d'endurance thermique.

Deuxième partie: Liste des matériaux et des essais existants.

Troisième partie: Exemples et applications des méthodes statistiques à la détermination de l'endurance thermique. (A l'étude.)

1. Domaine d'application

La présente recommandation définit les principes nécessaires à la mise au point de méthodes d'essai ayant pour objet l'évaluation de l'endurance thermique des matériaux isolants électriques et des combinaisons simples de ces matériaux.

Les résultats des essais accélérés d'endurance thermique, effectués suivant les méthodes prescrites, peuvent être utilisés pour déterminer des profils d'endurance thermique et des indices de température des matériaux isolants.

2. Objet

Les méthodes d'essai d'endurance thermique sont destinées à déterminer les changements survenus dans les propriétés des matériaux par suite d'une longue exposition à une température élevée.

Pour se comporter de façon satisfaisante, les matériaux isolants doivent présenter un ensemble convenable de propriétés mécaniques, chimiques et électriques et conserver celles-ci à un niveau suffisant pendant toute la durée de service du matériel.

Les propriétés mécaniques, chimiques et électriques des matériaux à l'état neuf devront être évaluées séparément suivant des modes opératoires qui ne font pas l'objet des méthodes d'essai d'endurance thermique. Les propriétés ainsi déterminées peuvent indiquer que l'une ou plusieurs ou des combinaisons d'entre elles seront, dans la pratique, le facteur de limitation plutôt que l'endurance thermique.

Le processus de vieillissement thermique des matériaux isolants est complexe et les mécanismes varient avec les différents matériaux et suivant les différentes conditions de service.

Les mécanismes caractéristiques comprennent:

- a) La perte des constituants volatils tels que des composants de faible poids moléculaire présents à l'origine ou formés durant le processus de vieillissement.
- b) L'oxydation qui cause une réticulation moléculaire du matériau et le rend fragile.
- c) La poursuite de la polymérisation moléculaire qui peut d'abord accroître les caractéristiques électriques et physiques, mais qui, par la suite, peut provoquer une diminution de la flexibilité, une fragilité et enfin une détérioration sous l'effet de contraintes mécaniques.

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

Part 1 : General procedures for the determination of thermal endurance properties, temperature indices and thermal endurance profiles

INTRODUCTION

The revision of the first edition of IEC Publication 216, Guide for the Preparation of Test Procedures for Evaluating the Thermal Endurance of Electrical Insulating Materials, is composed of three parts:

Part 1: General procedures for the determination of thermal endurance properties, temperature indices and thermal endurance profiles.

Part 2: List of materials and available tests.

Part 3: Examples and application of statistical methods to the determination of thermal endurance. (Under consideration.)

1. Scope

This recommendation gives principles for the development of test procedures to evaluate the thermal endurance of electrical insulating materials and simple combinations of such materials.

The results of accelerated thermal endurance tests, which are conducted according to prescribed procedures, may be used to establish thermal endurance profiles and temperature indices for insulating materials.

2. Object

Thermal endurance test procedures are intended to determine the changes in properties of materials caused by long-term exposure to elevated temperature.

To perform satisfactorily, insulating materials must have the required combination of mechanical, chemical and electrical properties and retain these at an adequate level throughout the service life of the equipment.

The mechanical, chemical and electrical properties of the materials when new should be evaluated separately by test methods not within the scope of thermal endurance test procedures. The properties so determined may indicate that one or more, or combinations of these, will be the limiting factor in practice rather than thermal endurance.

The process of thermal ageing in insulating materials is complex and the mechanisms vary with different materials and under different service conditions.

Typical mechanisms include:

- a) Loss of volatile constituents such as low molecular weight components initially present or formed in the ageing process.
- b) Oxidation which causes molecular cross-linking and embrittlement.
- c) Continuing molecular polymerization which may increase physical and electric strength at first, but may subsequently lead to decreased flexibility, embrittlement and failure under mechanical stress.

d) La dégradation par hydrolyse dans laquelle l'humidité emmagasinée réagit avec l'isolation sous l'influence de la chaleur.

e) La décomposition chimique des constituants avec formation de produits dangereux tels que l'acide chlorhydrique. Dès qu'ils ont commencé, ces processus peuvent être autocatalytiques.

Les progrès rapides dans la chimie des polymères ont eu pour conséquence l'apparition de nombreux matériaux isolants complexes, dont l'endurance thermique ne peut être prédéterminée de façon certaine à partir de leur famille chimique et qui souvent diffèrent l'un de l'autre de manière significative; c'est ainsi que des changements dans la nature physique du polymère et/ou dans le type et la quantité de divers additifs peuvent exercer une grande influence sur la stabilité du matériau.

Dans l'état actuel des connaissances, l'évaluation de l'endurance thermique des matériaux isolants et de leurs combinaisons simples s'effectue grâce à des essais accélérés pratiqués à des températures supérieures à la température de service prévue. L'expérience montre que les résultats d'essais d'endurance thermique peuvent être caractérisés par une loi du type Arrhenius, c'est-à-dire une relation linéaire entre le logarithme du temps correspondant à un certain degré de variation de propriété et l'inverse de la température thermodynamique. Cette loi est souvent utilisée pour évaluer, par extrapolation, les durées aux plus basses températures. L'exécution d'essais d'endurance thermique à plusieurs températures satisfait un double but; d'abord la précision de l'extrapolation est améliorée et, en second lieu, il est procédé à la vérification de l'hypothèse de l'existence d'une relation linéaire entre le logarithme du temps et l'inverse de la température thermodynamique, ce qui n'est pas le cas si le mécanisme de détérioration se trouve modifié dans la gamme des températures d'essai. Une extrapolation des résultats n'est pas justifiée dans le cas d'une vérification négative.

Les renseignements les plus complets concernant le résultat d'un essai accéléré de vieillissement thermique sont donnés sous la forme d'une courbe de vieillissement. Afin de permettre une comparaison très rapide des matériaux et l'introduction de leurs propriétés dans des tableaux, il a été défini un *profil d'endurance thermique* (voir l'article 11) pour décrire, sous une forme abrégée, une courbe de vieillissement. Le profil indique, sous la forme de quelques nombres, la stabilité relative d'un matériau déterminée par le changement d'une propriété particulière quand le matériau est soumis à un échauffement prolongé. L'*indice de température* (voir l'article 11) est une formule encore plus abrégée, utilisable aux fins d'une spécification.

Les profils et indices, tout en donnant des indications sur les matériaux, ne peuvent pas, à eux seuls, être utilisés pour prévoir la relation entre la température et la durée de vie d'un système d'isolation en service.

Toutes les propriétés d'un matériau soumis au vieillissement thermique ne se détériorent pas à la même vitesse et, en conséquence, des profils d'endurance thermique et des indices de température sont nécessaires pour un certain nombre de propriétés ayant trait à des modes possibles de défaillance du matériau en service.

Les matériaux sont habituellement placés librement dans une étuve pendant le vieillissement. D'autres dispositions peuvent être adoptées mais des résultats d'endurance thermique différents peuvent alors être obtenus.

Les essais d'endurance thermique fournissent un moyen de déterminer des changements irréversibles d'importantes propriétés de matériaux isolants en fonction de la température et du temps.

Diverses méthodes d'essai doivent être établies pour les différentes sortes de matériaux isolants tels que vernis d'imprégnation, isolants en feuille, etc. L'endurance thermique du matériau est déterminée en utilisant des critères de dégradation fondés sur l'aptitude du matériau à subir des contraintes telles que champ électrique, tension ou flexion mécanique, etc., ou est établie à partir des changements dans une propriété du matériau. Il peut être attribué à un matériau plus d'un profil d'endurance thermique ou plus d'un indice de température résultant de la mesure de différentes propriétés ou de différents essais.

3. Considérations générales

Les méthodes d'essai considérées dans ce guide concernent les matériaux isolants, y compris les compositions fabriquées à partir de matériaux de base, et leurs combinaisons simples, avant qu'ils n'aient été mis en œuvre pour réaliser des bobinages ou d'autres structures isolantes identifiables comme pièces spécifiques de matériel électrique.

- d) Hydrolytic degradation in which retained moisture reacts with the insulation under the influence of heat.
- e) Chemical breakdown of constituents with formation of harmful products such as hydrochloric acid. Such processes once started may be autocatalytic.

Rapid advances in polymer chemistry have resulted in numerous complex insulating materials, the thermal endurance of which cannot be reliably predicted from their chemical family and which often differ significantly from one another, e.g. changes in the physical nature of the polymer and/or in the type and quantity of various additives can exert an important influence on the stability of the material.

It is the present state of the art to assess the thermal endurance of insulating materials and simple combinations through accelerated tests at higher temperatures than the intended service temperature. It is a common experience that the results of thermal endurance tests can be described by an Arrhenius type of model law, i.e. a linear relationship between the logarithm of time to a certain degree of property change and the inverse thermodynamic temperature. This law is often used for estimating the times at lower temperatures by extrapolation. Performing thermal endurance tests at several temperatures serves a double purpose; first, the accuracy of the extrapolation is improved and, second, a check is provided that the basic assumption of a linear relationship between the logarithm of time and the reciprocal thermodynamic temperature is satisfied, which is not the case if the deterioration mechanism is subject to change in the range of test temperatures. An extrapolation of the results is not justified if this check is negative.

The most complete information about the result of an accelerated thermal ageing test is an ageing curve. To enable materials to be compared expeditiously and the properties tabulated, a *thermal endurance profile* (see Clause 11) is introduced as a “short hand form” of an ageing curve, indicating in a few numbers the relative stability of a material, as determined by the change in a particular property when it is subjected to prolonged heating. An even shorter form, suitable for specification purposes, is the *temperature index* (see Clause 11).

Profiles and indices, while giving guidance on materials, should not by themselves be taken to predict the relationship between temperature and life of an insulation system in service.

All the properties of a material subjected to heat ageing do not deteriorate at the same rate and, consequently, thermal endurance profiles and temperature indices are required for a number of properties related to possible modes of failure of the material in service.

Materials are normally freely exposed in an oven during ageing. Other arrangements may be used, but different thermal endurance results may then be obtained.

Thermal endurance tests provide a means for determining irreversible changes of important properties of insulating materials as a function of temperature and time.

Different test procedures are to be developed for different kinds of insulating materials such as impregnating varnishes, sheet insulation, etc. The thermal endurance of the material is determined by end-point criteria based on the material's ability to withstand a stress such as electric field, mechanical tension or flexure, etc., or is based on changes in a property of the material. A material may be assigned more than one thermal endurance profile or more than one temperature index derived from the measurement of different properties or from different tests.

3. General considerations

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