



# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

**Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation –  
Part 5: Procedures for assessment of ageing in service**

**Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants –  
Partie 5: Procédures pour l'estimation du vieillissement en service**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

S

## CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope and object.....	6
2 Normative references .....	6
3 Terms and definitions .....	7
4 Background .....	7
4.1 General.....	7
4.2 Diffusion limited oxidation (DLO) .....	7
4.3 Dose rate effects (DRE) .....	8
4.4 Accelerated radiation ageing .....	8
4.5 Accelerated thermal ageing .....	9
5 Approaches to ageing assessment .....	9
6 Identifying components of concern .....	9
6.1 General.....	9
6.2 Priorities for ageing management.....	9
6.3 Environmental monitoring .....	10
6.4 Localized severe environments .....	10
6.5 Worst case components .....	10
7 Condition monitoring techniques.....	10
7.1 General.....	10
7.2 Establishing correlation curves for CM methods .....	11
7.3 CM methods.....	11
7.4 Using CM for short-term troubleshooting .....	11
7.5 Using CM for long-term degradation assessment.....	13
8 Predictive modelling .....	14
9 Sample deposit.....	15
9.1 General.....	15
9.2 Requirements of a deposit.....	15
9.3 Pre-ageing samples for a deposit .....	15
9.4 Installation of an sample deposit .....	15
9.5 Testing of samples from the deposit.....	16
9.6 Determination of sampling intervals.....	16
9.7 Real time aged materials.....	17
Annex A (informative) Example of a CM correlation curve .....	18
Annex B (informative) Use of a deposit.....	19
Bibliography.....	20
Figure 1 – Development of ageing data on changes in tensile elongation and a condition indicator (e.g. indenter modulus) – Schematic.....	12
Figure 2 – Correlation curve derived from data in Figure 1 – Schematic.....	13
Figure 3 – Estimation of elongation from a correlation curve .....	14
Figure 4 – Modification of sampling interval dependent on values of the CM indicator.....	17
Figure A.1 – Correlation curve for indenter modulus against tensile elongation for a CSPE cable jacket material [18].....	18

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRICAL INSULATING MATERIALS –  
DETERMINATION OF THE EFFECTS OF IONIZING RADIATION –**

**Part 5: Procedures for assessment of ageing in service**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60544-5 has been prepared IEC technical committee TC 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 2003, and constitutes an editorial revision to align it with standards recently developed by SC 45A as well as with other parts in the IEC 60544 series.

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

CDV	Report on voting
112/171/CDV	112/191/RVC

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 60544 series, published under the general title *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

## INTRODUCTION

Organic and polymeric materials provide a significant proportion of the insulation used in electrical systems. These materials are sensitive to the effects of irradiation and the response varies widely between different types. It is therefore important to be able to assess the degree of degradation of these insulating materials during their service lifetimes. This part of IEC 60544 provides recommended procedures for assessing ageing of insulating materials in service.

There are a number of approaches to the assessment of ageing of polymer-based components exposed to radiation environments [1–4]<sup>1</sup>. These are based on the better understanding of the factors affecting ageing degradation which has been developed over several decades. In nuclear power plants, qualification programmes are normally used for selection of components, including those based on polymeric materials. These initial qualification procedures, such as IEEE-323 [5] and IEEE-383 [6], were originally written before there was sufficient understanding of ageing mechanisms. Most of the methods discussed in this part of IEC 60544 are therefore used to supplement the initial qualification process.

This part is the fifth in a series dealing with the effect of ionizing radiation on insulating materials.

Part 1 (Radiation interaction and dosimetry) constitutes an introduction dealing very broadly with the problems involved in evaluating radiation effects. It also provides guidance to dosimetry terminology, several methods of determining exposure and absorbed dose, and methods of calculating absorbed dose in any specific material from the dosimetry method applied.

Part 2 (Procedures for irradiation and test) describes procedures for maintaining seven different types of exposure conditions during irradiation. It also specifies the controls that should be maintained over these conditions so that when test results are reported, reliable comparisons of material performance can be made. In addition, it defines certain important irradiation conditions and test procedures to be used for property change determinations and corresponding end-point criteria.

Part 3 has been incorporated into the second edition of IEC 60544-2.

Part 4 (Classification system for service in radiation environments) provides a recommended classification system for categorizing the radiation endurance of insulation materials.

---

<sup>1</sup> Figures in square brackets refer to the bibliography.

# ELECTRICAL INSULATING MATERIALS – DETERMINATION OF THE EFFECTS OF IONIZING RADIATION –

## Part 5: Procedures for assessment of ageing in service

### 1 Scope and object

This part of IEC 60544 covers ageing assessment methods which can be applied to components based on polymeric materials (e.g. cable insulation and jackets, elastomeric seals, polymeric coatings, gaiters) which are used in environments where they are exposed to radiation.

The object of this standard is aimed at providing methods for the assessment of ageing in service. The approaches discussed in the following clauses cover ageing assessment programmes based on condition monitoring (CM), the use of sample deposits in severe environments and sampling of real-time aged components.

### 2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60544-1, *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation – Part 1: Radiation interaction and dosimetry*

IEC 60544-2, *Guide for determining the effects of ionizing radiation on insulating materials – Part 2: Procedures for irradiation and test*

IEC 61244-1, *Determination of long-term radiation ageing in polymers – Part 1: Techniques for monitoring diffusion-limited oxidation*

IEC 61244-2, *Determination of long-term radiation ageing in polymers – Part 2: Procedures for predicting ageing at low dose rates*

IEC 60780, *Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	24
INTRODUCTION.....	26
1 Domaine d'application et objet.....	27
2 Références normatives.....	27
3 Termes et définitions .....	28
4 Contexte.....	28
4.1 Généralités.....	28
4.2 Oxydation limitée par diffusion (DLO) .....	28
4.3 Effets de débit de dose (DRE) .....	29
4.4 Vieillissement accéléré par rayonnement.....	29
4.5 Vieillissement thermique accéléré .....	30
5 Approches pour l'évaluation du vieillissement.....	30
6 Identification des composants importants .....	31
6.1 Généralités.....	31
6.2 Priorités pour la gestion du vieillissement.....	31
6.3 Surveillance de l'environnement .....	31
6.4 Environnement sévères localisés .....	32
6.5 Composants dans le cas le plus défavorable .....	32
7 Techniques de contrôle des conditions .....	32
7.1 Généralités.....	32
7.2 Établissement des courbes de corrélation pour les méthodes de CM.....	32
7.3 Méthodes de CM .....	33
7.4 Utilisation du CM pour le dépannage à court terme .....	33
7.5 Utilisation du CM pour l'évaluation de la dégradation à long terme .....	35
8 Modélisation prédictive.....	36
9 Dépôt d'échantillons .....	37
9.1 Généralités.....	37
9.2 Exigences d'un dépôt .....	37
9.3 Pré-vieillissement d'échantillons pour un dépôt .....	38
9.4 Installation d'un dépôt d'échantillons .....	38
9.5 Essais des échantillons provenant du dépôt .....	38
9.6 Détermination des intervalles d'échantillonnage .....	39
9.7 Matériaux vieillis en temps réel .....	39
Annexe A (informative) Exemple de courbe de corrélation de CM .....	41
Annexe B (informative) Utilisation d'un dépôt.....	42
Bibliographie.....	43
Figure 1 – Développement des données de vieillissement sur des modifications d'allongement à la rupture et indicateur de condition (par exemple, module « indenter ») – Courbe .....	34
Figure 2 – Courbe de corrélation dérivée des données de la Figure 1 – Courbe.....	35
Figure 3 – Estimation de l'allongement d'après une courbe de corrélation.....	36
Figure 4 – Modification de l'intervalle d'échantillonnage en fonction des valeurs de l'indicateur de CM.....	39

Figure A.1 – Courbe de corrélation pour module « indenter » par rapport à l'allongement à la rupture pour un matériau de gaine de câble en CSPE [18].....41



## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### **MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – DÉTERMINATION DES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS –**

#### **Partie 5: Procédures pour l'estimation du vieillissement en service**

##### AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60544-5 a été établie par le comité d'études CE 112 de la CEI: Évaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, publiée en 2003, dont elle constitue une éditoriale révisée destinée à aligner ce document avec des normes récemment élaborées au sein du SC 45A, ainsi qu'avec d'autres parites de la série CEI 60544.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
112/171/CDV	112/191/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60544, publiées sous le titre général *Matériaux isolantes électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

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

## INTRODUCTION

Les matériaux organiques et polymères représentent une proportion significative des isolations utilisées dans des systèmes électriques. Ces matériaux sont sensibles aux effets d'irradiation et la réponse varie beaucoup entre différents types. Par conséquent, il importe d'être en mesure d'évaluer le degré de dégradation de ces matériaux isolants pendant leur durée de vie en service. La présente partie de la CEI 60544 fournit des procédures recommandées pour évaluer le vieillissement des matériaux isolants en service.

Il existe un certain nombre d'approches pour l'évaluation du vieillissement de composants à base de polymère exposés aux environnements sous rayonnement [1–4]<sup>1</sup>. Elles sont fondées sur une meilleure compréhension des facteurs affectant la dégradation liée au vieillissement qui s'est développée au cours de plusieurs décennies. Dans une installation nucléaire, des programmes de qualification sont en règle générale utilisés pour la sélection des composants, y compris ceux à base de matériaux polymères. Ces procédures de qualification initiales, telles que l'IEEE-323 [5] et l'IEEE-383 [6], ont été écrites à l'origine avant de disposer d'une compréhension suffisante des mécanismes de vieillissement. La plupart des méthodes examinées dans la présente partie de la CEI 60544 sont, de ce fait, utilisées pour compléter le processus initial de qualification.

La présente partie est la cinquième d'une série traitant de l'effet du rayonnement ionisant sur les matériaux isolants.

La Partie 1 (Interaction des rayonnements et dosimétrie) constitue une introduction traitant très largement des problèmes liés à l'évaluation des effets de rayonnement. Elle fournit également des lignes directrices pour la terminologie de la dosimétrie, plusieurs méthodes de détermination de l'exposition et de dose absorbée, et des méthodes de calcul de dose absorbée dans tout matériau spécifique à partir de la méthode de dosimétrie appliquée.

La Partie 2 (Méthodes d'irradiation et d'essai) décrit des méthodes pour le maintien de sept différents types de conditions d'exposition pendant l'irradiation. Elle spécifie également les contrôles qu'il convient de maintenir sur ces conditions de telle manière que lorsque les résultats d'essai sont présentés dans un rapport, des comparaisons fiables de performance de matériaux puissent être établies. D'ailleurs, elle définit certaines conditions importantes d'irradiation et des méthodes d'essai à utiliser en vue de déterminations de changement de propriétés et des critères correspondants de point limite.

La Partie 3 a été incorporée dans la deuxième édition de la CEI 60544-2.

La Partie 4 (Système de classification pour l'utilisation dans un environnement sous rayonnement) fournit un système de classification recommandé pour établir des catégories de tenue au rayonnement des matériaux d'isolation.

---

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

## **MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – DÉTERMINATION DES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS –**

### **Partie 5: Procédures pour l'estimation du vieillissement en service**

#### **1 Domaine d'application et objet**

Le présent partie de la CEI 60544 couvre les méthodes d'évaluation du vieillissement pouvant être appliquées aux composants à base de matériaux polymères (par exemple, des gaines et isolations de câble, des joints en élastomère, des revêtements polymères, des gaines) qui sont utilisés dans des environnements où ils sont exposés aux rayonnements.

L'objet de la présente norme est destiné à fournir des méthodes d'évaluation du vieillissement en service. Les approches examinées dans les articles qui suivent couvrent les programmes d'évaluation de vieillissement fondés sur le contrôle des conditions (CM), l'utilisation de dépôt d'échantillons dans des environnements sévères et l'échantillonnage de composants vieilliss en temps réel.

#### **2 Références normatives**

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60544-1, *Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants – Partie 1: Interaction des rayonnements et dosimétrie*

CEI 60544-2, *Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants – Deuxième partie: Méthodes d'irradiation et d'essai*

CEI 61244-1, *Détermination du vieillissement à long terme sous rayonnement dans les polymères – Partie 1: Techniques pour contrôler l'oxydation limitée par diffusion*

CEI 61244-2, *Détermination du vieillissement à long terme sous rayonnement dans les polymères – Partie 2: Méthodes pour prédire le vieillissement à faible débit de dose*

CEI 60780, *Centrales nucléaires – Équipements électriques de sûreté – Qualification*