IEC 60544-5

Edition 3.0 2022-06

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'évaluation du vieillissement en service

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 17.240; 29.035.01

ISBN 978-2-8322-3826-4

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

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 4
INTRODUCTION 6
1 Scope 7
2 Normative references 7
3 Terms, definitions and abbreviated terms 7
3.1 Terms and definitions 7
3.2 Abbreviated terms 7
4 Background 8
4.1 General 8
4.2 Diffusion-limited oxidation (DLO) 8
4.3 Dose rate effects (DRE) 9
4.4 Accelerated radiation ageing 9
4.5 Accelerated thermal ageing 9
5 Approaches to ageing assessment 10
6 Identifying components of concern 10
6.1 General 10
6.2 Priorities for ageing management 10
6.3 Environmental monitoring 10
6.4 Localized severe environments 11
6.5 Worst case components 11
7 Condition monitoring techniques 11
7.1 General 11
7.2 Establishing correlation curves for CM methods 11
7.3 CM methods 12
7.4 Using CM for short-term troubleshooting 12
7.5 Using CM for long-term degradation assessment 14
8 Predictive modelling 15
9 Sample deposit 16
9.1 General 16
9.2 Requirements of a deposit 16
9.3 Pre-ageing samples for a deposit 16
9.4 Installation of a sample deposit 17
9.5 Testing of samples from the deposit 17
9.6 Determination of sampling intervals 17
9.7 Real time aged materials 18
Annex A (informative) Example of a CM correlation curve 19
Annex B (informative) Use of a deposit 20
B.1 Typical sample in a deposit 20
B.2 Typical testing schedule for a deposit 20
Bibliography 21

Figure 1 – Development of ageing data on changes in tensile elongation and a condition indicator (e.g. indenter modulus) – Schematic representation 13
Figure 2 – Correlation curve derived from data in Figure 1 – Schematic representation 14
Figure 3 – Estimation of elongation from a correlation curve 15

Figure 4 – Modification of sampling interval dependent on values of the CM indicator – Schematic representation 18

Figure A.1 – Correlation curve for indenter modulus against tensile elongation for a CSPE cable jacket material [24] 19

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.

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

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2011. This edition constitutes a technical revision.

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

a) added recent references in 7.4 showing that some electrical condition monitoring methods show promising correlations with ageing;
b) updated recommendations for implementation of a sample deposit in 9.2, installation of a sample deposit in 9.3 and testing of samples from the deposit in 9.4;
c) updated list of references.

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

Draft	Report on voting
112/523/CDV	112/553/RVC

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

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

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

A list of all parts in the IEC 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 document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

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], [2], [3], [4][1]. 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 the selection of components, including those based on polymeric materials. These initial qualification procedures, such as IEEE Std 323™-1974[2] [5] and IEEE Std 383™-1974[2] [6], were originally written before there was sufficient understanding of ageing mechanisms. Most of the methods discussed in this document are therefore used to supplement the initial qualification process.

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

IEC 60544-1 (Radiation interaction and dosimetry) constitutes an introduction dealing very broadly with the problems involved in evaluating radiation effects. It also provides guidance on 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.

IEC 60544-2 (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.

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

IEC 60544-4 (Classification system for service in radiation environments) provides a recommended classification system for categorizing the radiation endurance of insulation materials.

---

[1] Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

[2] IEEE Std 323-1974 and IEEE Std 383-1974 are now withdrawn and have been superseded by more recent revisions.

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

Part 5: Procedures for assessment of ageing in service

1 Scope

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 document is aimed at providing methods for the assessment of ageing in service. The approaches discussed in Clause 5 through Clause 9 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 are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

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

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 26
INTRODUCTION 28
1 Domaine d'application 29
2 Références normatives 29
3 Termes, définitions et termes abrégés 29
3.1 Termes et définitions 29
3.2 Termes abrégés 29
4 Contexte 30
4.1 Généralités 30
4.2 Oxydation limitée par diffusion (DLO) 30
4.3 Effets de débit de dose (DRE) 31
4.4 Vieillissement accéléré par rayonnement 31
4.5 Vieillissement thermique accéléré 32
5 Approches pour l'évaluation du vieillissement 32
6 Identification des composants importants 32
6.1 Généralités 32
6.2 Priorités pour la gestion du vieillissement 32
6.3 Contrôle radiologique de l'environnement 33
6.4 Environnements sévères localisés 33
6.5 Composants exposés aux conditions les plus défavorables 33
7 Techniques de surveillance de l'état 34
7.1 Généralités 34
7.2 Etablissement des courbes de corrélation pour les méthodes de CM 34
7.3 Méthodes de CM 34
7.4 Utilisation de la CM pour le dépannage à court terme 35
7.5 Utilisation de la CM pour l'évaluation de la dégradation à long terme 37
8 Modélisation prédictive 38
9 Dépôt d'échantillons 39
9.1 Généralités 39
9.2 Exigences d'un dépôt 39
9.3 Prévieillissement des échantillons pour un dépôt 40
9.4 Installation d'un dépôt d'échantillons 40
9.5 Essais sur les échantillons du dépôt 40
9.6 Détermination des intervalles d'échantillonnage 41
9.7 Matériaux vieillis en temps réel 41
Annexe A (informative) Exemple de courbe de corrélation de CM 43
Annexe B (informative) Utilisation d'un dépôt 44
B.1 Echantillon type dans un dépôt 44
B.2 Programme d'essais type pour un dépôt 44
Bibliographie 45

Figure 1 – Etablissement des données de vieillissement à partir de l'évolution de l'allongement à la rupture et d'un indicateur d'état (module "indenter", par exemple) – Représentation schématique 36

Figure 2 – Courbe de corrélation établie à partir des données de la Figure 1 – Représentation schématique 37
Figure 3 – Estimation de l'allongement à partir d'une courbe de corrélation 38
Figure 4 – Modification de l'intervalle d'échantillonnage en fonction des valeurs de l'indicateur de CM – Représentation schématique 41
Figure A.1 – Courbe de corrélation entre le module "indenter" et l'allongement à la rupture pour un matériau de gaine de câble en CSPE [24] 43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – DÉTERMINATION DES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS –

Partie 5: Procédures pour l'évaluation du vieillissement en service

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 60544-5 a été établie par le comité d'études 112 de l'IEC: Évaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2011. Cette édition constitue une révision technique.

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

a) des références récentes ont été ajoutées en 7.4 afin d'introduire des méthodes de surveillance de l'état qui montrent des corrélations prometteuses vis-à-vis du vieillissement;

b) les recommandations ont été mises à jour pour la mise en œuvre d'un dépôt d'échantillons en 9.2, l'installation d'un dépôt d'échantillons en 9.3 et les essais sur les échantillons du dépôt en 9.4;

c) la liste de références a été mise à jour.

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

Projet	Rapport de vote
112/523/CDV	112/553/RVC

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

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60544, publiées sous le titre général *Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants*, se trouve sur le site web de l'IEC.

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

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

INTRODUCTION

Les matériaux organiques et polymères représentent une proportion significative des isolations utilisées dans des systèmes électriques. Ces matériaux sont sensibles aux effets des irradiations, et leur réponse varie de manière significative selon le type de matériau considéré. Par conséquent, il importe de pouvoir évaluer le degré de dégradation de ces matériaux isolants pendant leur durée de vie en service. La présente partie de l'IEC 60544 fournit des procédures recommandées pour évaluer le vieillissement en service des matériaux isolants.

Il existe un certain nombre d'approches pour l'évaluation du vieillissement de composants à base de matériaux polymères exposés aux environnements sous rayonnement [1], [2], [3], [4][1]. Celles-ci sont fondées sur une meilleure compréhension des facteurs qui ont une incidence sur la dégradation due au vieillissement, qui s'est accentuée depuis plusieurs décennies. Dans une centrale nucléaire de puissance, des programmes de qualification sont utilisés pour le choix des composants, y compris ceux à base de matériaux polymères. Ces procédures de qualification initiales, telles que l'IEEE 323™-1974[2] [5] et l'IEEE 383™-1974[2] [6], ont été initialement rédigées avant d'avoir acquis une connaissance suffisante des mécanismes de vieillissement. La plupart des méthodes examinées dans le présent document sont, de ce fait, utilisées pour compléter le processus de qualification initial.

Le présent document constitue la cinquième partie d'une série qui traite de l'effet des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants.

L'IEC 60544-1 (Interaction des rayonnements et dosimétrie) constitue une introduction qui traite très largement des problèmes liés à l'évaluation des effets des rayonnements. Elle fournit également des recommandations concernant la terminologie de la dosimétrie, plusieurs méthodes de détermination de l'exposition et de dose absorbée, ainsi que des méthodes de calcul de dose absorbée dans tout matériau spécifique selon la méthode de dosimétrie appliquée.

L'IEC 60544-2 (Méthodes d'irradiation et d'essai) décrit les procédures pour maintenir les sept types de conditions d'exposition pendant l'irradiation. Elle spécifie également les contrôles qu'il convient d'effectuer dans ces conditions afin de pouvoir établir des comparaisons fiables des performances de matériaux à partir des résultats d'essai consignés. En outre, elle définit certaines conditions d'irradiation importantes, ainsi que les procédures d'essai à utiliser pour déterminer les modifications de propriétés et les critères de point limite correspondants.

L'IEC 60544-3 a été annulée et incorporée dans la deuxième édition de l'IEC 60544-2.

L'IEC 60544-4 (Système de classification pour l'utilisation dans un environnement sous rayonnement) fournit un système de classification recommandé pour classer par catégorie les matériaux isolants selon leur comportement sous rayonnement.

---

1 Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

2 L'IEEE 323-1974 et l'IEEE 383-1974 ont été supprimées et remplacées par des révisions plus récentes.

MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – DÉTERMINATION DES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS –

Partie 5: Procédures pour l'évaluation du vieillissement en service

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60544 traite des méthodes d'évaluation du vieillissement qui peuvent être appliquées aux composants à base de matériaux polymères (gaines et isolations de câble, joints en élastomère, revêtements polymères, garnitures) qui sont utilisés dans des environnements où ils sont exposés aux rayonnements.

L'objet du présent document est de fournir des méthodes pour évaluer le vieillissement en service des matériaux. Les approches examinées dans les Articles 5 à 9 concernent les programmes d'évaluation de vieillissement fondés sur une surveillance de l'état (CM, *Condition Monitoring*), l'utilisation de dépôts d'échantillons dans des environnements sévères et l'échantillonnage de composants vieillis en temps réel.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60544-2, *Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants – Partie 2: Méthodes d'irradiation et d'essai*

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

IEC TS 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*