

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

60941

Première édition
First edition
1988-08

**Essais fonctionnels d'endurance mécanique
des systèmes d'isolation électrique**

**Mechanical endurance functional tests
for electrical insulation systems**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60941: 1988

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VSI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity 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 relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

60941

Première édition
First edition
1988-08

**Essais fonctionnels d'endurance mécanique
des systèmes d'isolation électrique**

**Mechanical endurance functional tests
for electrical insulation systems**

© IEC 1988 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

K

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

	Pages
PREAMBULE.....	4
PREFACE	4
INTRODUCTION	6
 Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Considérations générales.....	8
2.1 Effets de vieillissement	8
3. Expérience d'essais mécaniques fonctionnels	8
4. Estimation du facteur de vieillissement contrainte mécanique...	10
4.1 Variables d'essais et autres aspects.....	10
4.2 Justification des essais mécaniques.....	10
4.3 Présence d'autres facteurs.....	12
4.4 Types d'essais mécaniques.....	12
5. Accélération du vieillissement.....	14
5.1 Accélération par augmentation de la fréquence	14
5.2 Augmentation du taux de répétition.....	16
5.3 Accélération par augmentation du niveau de contrainte ...	16
5.4 Dispersion des résultats	16
6. Conclusions.....	18
ANNEXE A - Essais d'endurance mécanique.....	20

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Scope	7
2. General considerations	9
2.1 Ageing effects	9
3. Experience with mechanical functional tests	9
4. Assessment of mechanical stress as an ageing factor	11
4.1 Test variables and other aspects	11
4.2 Reasons for mechanical testing	11
4.3 Presence of other factors	13
4.4 Types of mechanical testing	13
5. Ageing acceleration	15
5.1 Acceleration by frequency increase	15
5.2 Repetition rate acceleration	17
5.3 Acceleration by stress level increase	17
5.4 Scatter in results	17
6. Conclusions	19
APPENDIX A - Mechanical endurance tests	21

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS FONCTIONNELS D'ENDURANCE MECANIQUE DES SYSTEMES D'ISOLATION ELECTRIQUE

PREAMBULE

- 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.

PREFACE

Le présent rapport a été établi par le Comité d'Etudes n° 63 de la CEI: Systèmes d'isolation.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
63(BC)24	63(BC)26

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

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans le présent rapport:

- Publications n^{os} 68-1 (1988): Essais d'environnement - Méthodes fondamentales d'essais, Première partie: Généralités et guide.
- 68-2: Deuxième partie: Essais.
- 505 (1975): Guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique.
- 610 (1978): Principaux aspects de l'évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation électriques: Mécanismes de vieillissement et procédures de diagnostic.
- 792-1 (1985): Essais fonctionnels à plusieurs facteurs de systèmes d'isolation électrique, Première partie: Procédures d'essai.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MECHANICAL ENDURANCE FUNCTIONAL TESTS
FOR ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS

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 report has been prepared by IEC Technical Committee No. 63: Insulation systems.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
63(C0)24	63(C0)26

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

The following IEC publications are quoted in this report:

Publications Nos. 68-1 (1988): Environmental testing - Basic methods of test, Part 1: General and guidance.

68-2: Part 2: Tests.

505 (1975): Guide for the evaluation and identification of insulation systems of electrical equipment.

610 (1978): Principal aspects of functional evaluation of electrical insulation systems. Ageing mechanisms and diagnostic procedures.

792-1 (1985): The multi-factor functional testing of electrical insulation systems, Part 1: Test procedures.

ESSAIS FONCTIONNELS D'ENDURANCE MECANIQUE DES SYSTEMES D'ISOLATION ELECTRIQUE

INTRODUCTION

Les contraintes mécaniques en tant que facteur de vieillissement des systèmes d'isolation électrique

Le matériel électrotechnique peut être soumis à des contraintes mécaniques dont l'origine peut être la fabrication, le transport, le montage et le fonctionnement. Pour certains types de matériels, il a été prouvé que la présence, pendant le fonctionnement, de contraintes mécaniques causées par des forces électrodynamiques, électromagnétiques ou d'origine thermique était l'une des causes principales du vieillissement de leur système d'isolation.

La contrainte mécanique peut devenir un facteur de vieillissement important du système d'isolation pour différentes raisons - le niveau de contrainte mécanique, le type de matériel, les conditions de service, le type de matériaux isolants, etc. Il est souligné dans la Publication 505 de la CEI qu'il est souvent nécessaire de reproduire par des essais fonctionnels les processus de vieillissement qui opèrent en service afin d'estimer l'aptitude au service d'un système d'isolation destiné à une application particulière.

Le présent rapport décrit des méthodes pour évaluer les systèmes d'isolation lorsque le vieillissement sous contrainte mécanique est un facteur important ou dominant pour déterminer la durée de vie en service. Il présente une approche et des principes simples, fondés sur des données d'expérience et de laboratoire, qui ont été trouvés utiles même s'ils ne reposent pas sur des bases théoriques.

On s'attend à ce que le développement ultérieur de méthodes d'essai pour l'évaluation de l'endurance aux contraintes mécaniques de systèmes d'isolation se fasse grâce à la coopération entre les Comités d'Etudes de matériels et le Comité d'Etudes n° 63 de la CEI.

1. Domaine d'application

Le présent rapport fournit un guide destiné à aider les Comités d'Etudes de matériels de la CEI dans le développement de procédures d'essais mécaniques fonctionnels des systèmes d'isolation conçus pour leur matériel particulier.

Ce rapport est applicable dans les cas où la contrainte mécanique est le facteur dominant de vieillissement. Il peut aussi être utile pour des essais fonctionnels à plusieurs facteurs.

MECHANICAL ENDURANCE FUNCTIONAL TESTS FOR ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS

INTRODUCTION

Mechanical stresses as ageing factors of electrical insulation systems

Electrotechnical equipment may experience mechanical stresses from many causes during manufacture, transport, erection and operation. In certain types of equipment the presence, during operation, of mechanical stresses from electrodynamic, electromagnetic and thermal forces, has been shown to be one of the main causes of changes in their insulation systems.

The transformation of mechanical stress into a major insulation system ageing factor depends on various causes - the mechanical stress level, type of equipment, service conditions, type of insulating material, etc. As emphasized in IEC Publication 505, it is often necessary to reproduce by functional testing the ageing processes which occur in service, in order to estimate the serviceability of the insulation system for a particular application.

This report deals with methods for evaluating insulation systems when mechanical stress ageing is a contributing or dominant factor in determining service life. It presents basic principles and approaches that have been found to work, even in the absence of theoretical explanations, based on service experience data and research practice.

Further development of test methods for evaluating the mechanical stress endurance of insulation systems is expected through co-operation between the Equipment Technical Committees and IEC Technical Committee No. 63.

1. Scope

This report provides a guide for IEC Equipment Technical Committees to assist them in developing mechanical functional test procedures for insulation systems designed for their specific equipment.

This report is applicable to such cases where mechanical stress is the dominant ageing factor. It may also be an important consideration for use in multi-factor functional tests.

2. Considérations générales

Le présent rapport ne traite que du vieillissement causé par les contraintes mécaniques apparaissant lors du fonctionnement du matériel.

Les essais fonctionnels de vieillissement mécanique de systèmes d'isolation diffèrent significativement des essais mécaniques sur matériaux isolants. La performance d'un système n'est pas seulement influencée par la structure composite des matériaux isolants, mais aussi par les parties associées qui ont une influence sur le comportement mécanique. Des changements dans tout composant peuvent modifier les caractéristiques mécaniques d'un système d'isolation.

2.1 *Effets de vieillissement*

Les contraintes mécaniques imposées à un système d'isolation peuvent avoir des effets de vieillissement qui peuvent se présenter seuls ou en combinaison. Les principaux effets sont:

- défaillance par fatigue de composants de l'isolation causée par un nombre élevé de cycles de contrainte de faible niveau;
- rupture de l'isolation due à des contraintes mécaniques de haut niveau, par exemple causée par d'importantes forces extérieures ou des conditions anormales de fonctionnement du matériel;
- usure abrasive causée par le mouvement relatif des composants du matériel;
- fluage de l'isolation sous contrainte.

En général, ces phénomènes ne sont pas distribués uniformément dans le volume de l'isolation.

3. Expérience d'essais mécaniques fonctionnels

Les normes nationales d'essai de vieillissement mécanique de systèmes d'isolation électrique ne sont pas à un stade de développement avancé. La majorité des publications traitent de l'utilisation de contraintes mécaniques sur de courtes périodes, à des niveaux de service normal pour servir de diagnostic pour évaluer la détérioration causée par d'autres facteurs de vieillissement, ou d'exposition courte à des niveaux relativement sévères pour évaluer la résistance d'un appareil à des forces électromagnétiques pouvant soit apparaître lors de court-circuit dans le matériel de puissance soit être dus à des contraintes mécaniques externes associées à des applications spécifiques.

La compréhension du fait que les contraintes mécaniques nominales de service pouvaient, pour certains types de matériel de puissance, être plus importantes pour la détermination de la durée de vie de l'isolation et du matériel que les contraintes thermiques a encouragé le développement de méthodes d'essais mécaniques de systèmes d'isolation. Ces travaux sur le vieillissement mécanique soit du matériel réel, soit de maquettes pour essais fonctionnels ne représentent néanmoins qu'une petite fraction des travaux publiés sur le vieillissement thermique ou même sur l'endurance électrique.

2. General considerations

Only mechanical stress ageing occurring during equipment operation is considered in this report.

Functional tests for mechanical ageing of insulation systems differ significantly from mechanical tests on insulating materials. The performance of systems is not only affected by the composite structure of insulating materials, but also by the associated parts which influence mechanical behaviour. Changes in any component may change the mechanical characteristics of an insulation system.

2.1 *Ageing effects*

Mechanical stresses applied to an insulation system may have ageing effects which can be present either alone or in combination. The principal effects are:

- fatigue failure of insulation components caused by a large number of low-level stress cycles;
- breaking of insulation by high levels of mechanical stress such as may be caused by great external forces or abnormal operating conditions of the equipment;
- abrasive wear caused by relative motion between equipment components;
- insulation creep or flow under stress.

Generally these phenomena are not evenly distributed throughout the volume of insulation.

3. Experience with mechanical functional tests

National standards for mechanical ageing tests of electrical insulation systems are not well developed. Most of the published material relates to the use of mechanical stresses for brief periods at normal service levels to serve as diagnostic aids in evaluating deterioration caused by another ageing stress; or to short-time exposure to relatively severe levels to evaluate the resistance of an apparatus to electromagnetic forces which may accompany short-circuits in power equipment, or to an externally applied mechanical stress that may be characteristic of specific applications.

The realization that service level mechanical stresses in certain types of power equipment could be more important in determining insulation and equipment life than ageing due to thermal exposure has encouraged the development of mechanical testing methods for insulation systems. However, the published work on mechanical ageing, either on actual equipment or on functional test models, is only a small fraction of the work published on thermal ageing, or even on voltage endurance.

Le manque de méthode normalisée d'essais fonctionnels de vieillissement de systèmes d'isolation sous contraintes mécaniques est dû en partie au lent développement des théories acceptées reliant le vieillissement accéléré et le vieillissement en service sous contrainte mécanique. Des relations générales, telles que la relation d'Arrhenius applicable au vieillissement thermique, pour extrapoler les données de vieillissement accéléré sous contrainte mécanique n'ont pas encore été établies. Le vieillissement mécanique accéléré de systèmes d'isolation s'est limité, en général, à utiliser des conditions à peine plus sévères en amplitude et fréquence que celles de service.

Les maquettes pour essais fonctionnels mécaniques tendent à être complexes et nécessitent des dépenses considérables pour leur fabrication et leur mise en oeuvre car, souvent, une partie d'un appareil doit être construite en vraie grandeur afin d'obtenir des résultats réalistes.

4. Estimation du facteur de vieillissement contrainte mécanique

4.1 *Variables d'essais et autres aspects*

Des essais de vieillissement sous contrainte mécanique peuvent être faits chaque fois que cette contrainte représente un facteur de vieillissement. Dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de donner des règles complètes et précises pour chaque cas. Les Comités d'Etudes de matériels devraient déterminer, dans chaque cas, quels aspects du vieillissement mécanique sont importants.

Les effets néfastes des contraintes de vieillissement mécanique dépendent de la nature du système d'isolation et du matériel à l'essai ainsi que du niveau de vieillissement à n'importe quel moment. Les conditions à prendre en compte en général sont les cycles de service du matériel et l'apparition de charges inhabituelles causées par des conditions de service extrêmes ou d'autres transitoires électriques.

4.2 *Justification des essais mécaniques*

Bien que le vieillissement sous contrainte mécanique ne soit pas un facteur affectant la durée de vie en service de beaucoup de types de matériels, l'expérience a démontré que, dans certains cas, c'est le facteur dominant. L'expérience passée a montré que des procédures d'essai utiles ont été élaborées après que des ruptures mécaniques de systèmes d'isolation eurent été observées en service.

Les Comités d'Etudes de matériels devraient considérer le développement de méthodes d'essai lorsque:

- on pense qu'il existe ou qu'il peut exister une augmentation des contraintes mécaniques engendrées thermiquement ou électromécaniquement par des modifications de dimensions, de charge nominale; de cycles de service, de l'environnement, de gradients de température ou de cycles de fonctionnement plus sévères. Cela est particulièrement approprié pour les isolations polymériques pour lesquelles ces dégradations peuvent être cumulatives;

A contributing factor to the lack of standardized mechanical stress ageing functional tests of insulation systems is the slow development of accepted theories which relate accelerated mechanical stress ageing to service level stress ageing. General relationships (such as the Arrhenius relationship applicable to thermal ageing) for accelerating and extrapolating mechanical stress ageing have not been demonstrated. Accelerated mechanical ageing of insulation systems has been largely limited to conditions only slightly above service amplitude and frequency.

Mechanical functional testing models tend to be complex and require considerable investment to create and operate, since full-size sections of apparatus must often be built to produce realistic results.

4. Assesment of mechanical stress as an ageing factor

4.1 *Test variables and other aspects*

Ageing tests under mechanical stress may be performed whenever this stress is considered to act as an ageing factor. In the present state of knowledge, it is not possible to give complete and definite rules for every case. Equipment Technical Committees should determine which aspects of mechanical ageing are important in specific cases.

The damaging effect of mechanical ageing stress is dependent on the nature of the insulation systems and equipment being tested, as well as on the amount of ageing at any time. Conditions which are normally important include the equipment duty cycle and the occurrence of unusual loads due to extreme service conditions or other electrical transients.

4.2 *Reasons for mechanical testing*

While mechanical stress ageing may not be a factor in the service life of many equipment types, experience has shown that in certain cases it is the dominant factor. Past experience has shown that useful test procedures were developed when there was a record of mechanical failure of insulation systems in service.

Equipment Technical Committees should consider the developing of test procedures to be used when:

- there is, or there may be, an expected increase in the thermally or electrodynamically generated mechanical stresses caused by modifications in size, rating, duty cycle, environment, distribution of temperature, or cycles more severe than previously experienced. This is particularly relevant to polymeric insulation in which cumulative damage can occur;

- le matériel doit subir des contraintes mécaniques, imposées de façon continue ou répétitive par le milieu ambiant ou l'environnement, qui peuvent produire des dégradations cumulatives du système d'isolation.

4.3 *Présence d'autres facteurs*

Il est possible que les contraintes mécaniques deviennent un facteur de vieillissement seulement en présence d'un autre facteur d'influence, par exemple une contrainte mécanique en présence d'un fluide peut provoquer des craquelures dues à l'environnement. Les propriétés mécaniques de bien des systèmes d'isolation varient, notablement, des conditions de température ambiante, lors du démarrage, aux températures de service de pointe. D'autres facteurs d'environnement, tels que les contaminants et l'humidité, peuvent aussi changer les propriétés mécaniques.

Le taux de vieillissement produit par d'autres facteurs peut aussi être influencé directement ou indirectement par la présence de contraintes mécaniques.

Note.- Il convient de consulter la Publication 792-1 de la CEI avant d'élaborer des essais combinés à deux ou plusieurs facteurs de vieillissement.

4.4 *Types d'essais mécaniques*

Il existe, en simplifiant, trois types d'essais:

- des épreuves de réception afin d'établir que le nouveau matériel (ou le nouvel objet d'essai) a été conçu et fabriqué correctement pour un cycle de service donné;
- des essais d'aptitude au service pour évaluer le matériel en fonctionnement ou comme procédure de diagnostic pour les essais d'endurance de systèmes d'isolation;
- des essais d'endurance provoquant un vieillissement accéléré afin d'estimer les performances à long terme du système d'isolation.

Les essais du premier type sont effectués depuis bien des années et sont décrits dans les Publications 68-1 et 68-2 de la CEI. D'une façon générale, ces publications s'appliquent à la dégradation externe due à l'environnement, et les Comités d'Etudes de matériels devraient utiliser ces publications comme guide lorsqu'un essai fonctionnel d'un système d'isolation ou un essai de matériel complet doit inclure des contraintes mécaniques engendrées par l'entourage du matériel ou par l'environnement. Les renseignements contenus dans certaines de ces publications seront aussi utiles pour établir les procédures détaillées d'essais d'endurance mécanique.

Les essais d'endurance du troisième type utilisent une contrainte mécanique renforcée comme facteur d'influence de vieillissement pour évaluer par comparaison les systèmes d'isolation. Ces essais sont caractérisés par un vieillissement accéléré comparativement au vieillissement sous les conditions de service normal.

- the equipment is liable to be subjected to constant or repetitive externally or environmentally imposed mechanical stress that may cause cumulative damage to the insulation system.

4.3 *Presence of other factors*

It is possible that mechanical stress will become an ageing factor only in the presence of another factor, e.g. mechanical stress and a fluid can cause environmental stress cracking. The mechanical properties of many insulation systems change significantly from ambient temperature conditions at equipment start-up to peak service temperatures. Other environmental factors, such as humidity and contaminants, may also change mechanical properties.

The ageing rate produced by other factors may also be influenced by the presence of mechanical stresses, either directly or indirectly.

Note.- IEC Publication 792-1 should be consulted before preparing combined tests for two or more ageing factors.

4.4 *Types of mechanical testing*

There are, broadly speaking, three types of tests:

- acceptance test to establish that new equipment (or a new test object) is properly designed and manufactured for a specific duty cycle;
- test of suitability for service to evaluate equipment in use, or as a diagnostic procedure for endurance tests of insulation systems;
- endurance test, which causes accelerated ageing, to estimate the long-term capability of the insulation system.

Testing of the first type has been carried out for many years and is described in IEC Publications 68-1 and 68-2. In general, these publications apply to externally generated environmental damage and Equipment Technical Committees should refer to them for guidance whenever an insulation system functional test, or an overall equipment test, includes mechanical stresses which are generated either externally to the equipment or by the environment. However, the information in some of these publications will also be valuable in establishing the detailed procedures of mechanical endurance tests.

Endurance tests of the third type utilize intensified mechanical stress as the ageing factor of influence to evaluate insulation systems comparatively. These tests are characterized by accelerated ageing as compared to the ageing rate under normal service conditions.

5. Accélération du vieillissement

Le développement d'essais fonctionnels accélérés sous contraintes mécaniques est rendu difficile par le nombre très élevé de cycles de contraintes que peut subir le matériel durant les cycles normaux de service. L'accélération obtenue par une augmentation importante de la fréquence d'application de la contrainte est limitée par le fait qu'il ne faut produire que les modes de défaillances trouvés en service.

Les accélérations du vieillissement par l'augmentation du niveau des contraintes d'essai sont aussi limitées à des taux modérés pour éviter d'introduire des mécanismes de défaillance qui n'existent pas en service.

Les essais pour évaluer le vieillissement mécanique de systèmes d'isolation n'ont pas été développés pour la plupart des types de matériels avant que l'expérience n'ait montré que les niveaux de contrainte mécanique en service produisent un vieillissement du système d'isolation pouvant mener à la défaillance du matériel.

Pour être utiles, ces essais nécessitent le développement d'essais avec contrainte renforcée acceptable pour qu'un vieillissement de l'isolation puisse être obtenu dans un temps court comparativement à la durée de vie normale en service. Cependant, il n'existe pas encore de théorie reconnue reliant le vieillissement mécanique accéléré à celui obtenu en service. Dans certains cas simples, la relation entre le taux de vieillissement mécanique accéléré et celui en service a été démontrée, et des procédures d'essais fondées sur ces données sont utilisées.

L'intensification de la contrainte est commandée par la conception de la maquette et par la sévérité des conditions d'essais. Quel que soit le niveau d'intensification de la contrainte par rapport aux conditions de service, celui-ci devrait être adopté seulement après qu'une étude attentive et des essais préliminaires auront démontré que les mécanismes de défaillance dus au niveau choisi de la contrainte d'essai sont comparables à ceux trouvés en service. D'autres conseils pour la sélection des conditions de vieillissement accéléré n'affectant pas les mécanismes de vieillissement pendant les essais mécaniques fonctionnels se trouvent dans la Publication 610 de la CEI.

5.1 *Accélération par augmentation de la fréquence*

La durée de vie sous fatigue d'un composant de système d'isolation peut souvent être déterminée en augmentant la fréquence de la contrainte. Cette technique peut être utilisée lorsque l'échauffement supplémentaire causé par l'augmentation de l'énergie thermique dissipée dans l'échantillon est négligeable ou est contrôlée par un refroidissement additionnel.

Des conditions de résonance indésirables ne doivent pas être créées par l'augmentation de la fréquence. Si elles apparaissent, l'amplitude de la contrainte appliquée peut excéder largement les limites désirables et fausser les résultats. Il est donc nécessaire de connaître l'amplitude de la contrainte et de la contrôler tout le temps.

5. Ageing acceleration

The development of accelerated functional testing for mechanical stresses has been complicated by the very large number of stress cycles that may accumulate on equipment under normal duty cycles. Test acceleration by significantly increasing the frequency of stress application is restricted by the requirement that only failure modes found in service be produced.

Attempts to accelerate ageing by increasing the level of test stresses have also been limited to moderate intensification to avoid introducing failure mechanisms that do not occur in service.

Tests to evaluate mechanical ageing of insulation systems have not been developed for most equipment types until experience has shown that service levels of mechanical stress produce insulation system ageing which may lead to equipment failure.

To be practicable, these tests require the development of accepted intensified stress testing so that insulation ageing may be obtained in tests which are quickly run, as compared to normal service life. However, a recognized theory is not available to relate accelerated mechanical ageing to ageing obtained in service. In a few simple cases the equivalence of accelerated and service mechanical ageing rates has been demonstrated, and test procedures based on these findings are in use.

Stress intensification is controlled by the model design and by the severity of the test conditions. Any level of stress intensification beyond service conditions should only be permitted after careful study and trials have shown that failure mechanisms caused by the selected mechanical stress test level are comparable to those found in service experience. Further guidance in selecting accelerated ageing conditions that do not change ageing mechanisms during mechanical functional tests may be found in IEC Publication 610.

5.1 Acceleration by frequency increase

The fatigue life of an insulation system component may often be conveniently determined by accelerating the stress frequency. This technique may be used when the additional heating caused by the increased thermal energy dissipated in the specimen is negligible, or is controlled by additional cooling.

Unwanted resonance conditions shall not be introduced by frequency acceleration. If they occur, the amplitude of stress application may significantly exceed desired limits and invalidate the results; therefore, the stress amplitude must be known and controlled at all times.

Les systèmes d'isolation peuvent être sensibles au taux d'application de la contrainte mécanique et, par conséquent, présenter des changements non linéaires du taux de vieillissement lorsque la fréquence de la contrainte mécanique cyclique est augmentée. Un indice d'un tel changement peut être mis en évidence par la comparaison des courbes d'hystérésis mécanique, ou des formes d'onde, obtenues avec la contrainte au niveau et à la fréquence de service et celles obtenues à de plus hautes fréquences choisies pour le vieillissement accéléré. Ces phénomènes peuvent être contrôlés dans une certaine mesure par l'imposition de limites sur les changements acceptables de la forme de ces courbes durant les essais mécaniques fonctionnels accélérés.

5.2 *Augmentation du taux de répétition*

Certains types de contraintes mécaniques imposées en service à des systèmes d'isolation sont de nature périodique ou aléatoire et ne sont pas appliqués continuellement. Ces contraintes mécaniques causées par les transitoires électriques dus aux démarrages, arrêts, commutations, changements de charge, court-circuit ou autres aspects du cycle de service peuvent être accélérées en diminuant les intervalles entre leur application par rapport à ce qui se passe en service. Cela peut être accompli sans augmentation de l'amplitude ou de la fréquence de la contrainte mécanique et permet, dans bien des cas, d'accélérer d'une manière significative ces essais sans changer les mécanismes de vieillissement. Il convient de s'assurer que l'augmentation du taux d'application de la contrainte ne produit pas un échauffement excessif de l'isolation en essai.

5.3 *Accélération par augmentation du niveau de contrainte*

Le vieillissement mécanique de systèmes d'isolation obtenu par une augmentation importante du niveau de la contrainte est plus rarement utilisé, sauf pour les essais de fluage. Une augmentation modérée de la contrainte par rapport au niveau de service est néanmoins utilisée fréquemment pour fournir une marge de sécurité et est également utilisée avec une augmentation de la fréquence ou du taux de répétition.

5.4 *Dispersion des résultats*

Les variations inévitables des échantillons de systèmes d'isolation et l'imprécision normale dans l'application des contraintes provoquent une certaine dispersion des résultats de mesure, même lorsque beaucoup d'échantillons sont fabriqués de la même façon et essayés dans les mêmes conditions.

Les Comités d'Etudes de matériels devraient tenir compte de ces faits en spécifiant le nombre d'échantillons et les niveaux de contrainte pour établir une courbe d'endurance.

Insulation systems may be sensitive to the rate of mechanical stress application and thus experience non-linear changes in ageing rates as the frequency of cyclic mechanical stress is increased. Possible evidence of change in response may be found by comparing mechanical hysteresis curves, or wave shapes, at service stress and frequency with similar curves at higher frequencies desired for ageing acceleration. Some control over these phenomena may be obtained by imposing limits on the allowable changes in the shape of these curves during accelerated mechanical functional testing.

5.2 Repetition rate acceleration

Some types of mechanical stress experienced by insulation systems in service are of a random or periodic nature and not continuously applied. Mechanical stresses caused by electrical transients due to starting, stopping, switching, load changing, short-circuits or other aspects of the duty cycle may be accelerated by decreasing the interval between applications of the stresses relative to that expected in service. This can be done without increasing either the amplitude or the frequency of mechanical stress and permits, in many cases, significant acceleration of testing without change of ageing mechanisms. Care should be exercised to ensure that the increased rate of stress application does not cause excessive heating of the insulation under test.

5.3 Acceleration by stress level increase

The mechanical ageing of insulation systems by greatly increasing the stress levels is less generally practised except in creep studies. However, stresses moderately higher than service stresses are commonly used to provide a safety factor and are often used in a frequency or repetition rate acceleration.

5.4 Scatter in results

The inherent variability of insulation system specimens and the normal inaccuracy of stress application will result in a dispersion of measurement results, even when a number of specimens are manufactured in the same way and tested under the same nominal conditions.

The Equipment Technical Committee should take these considerations into account when specifying the number of specimens and the choice of test levels to establish an endurance curve.

6. Conclusions

Les essais fonctionnels pour l'évaluation de systèmes d'isolation soumis au vieillissement mécanique dans le matériel sont encore assez peu utilisés. Le développement de tels essais a le plus progressé pour les types de matériel qui ont présenté des défaillances en service causées par le vieillissement sous contrainte mécanique de leur système d'isolation.

Tout comme les essais fonctionnels pour les autres facteurs d'influence décrits dans la Publication 505 de la CEI, ces essais permettent une évaluation par comparaison d'un système d'isolation nouveau ou modifié avec un système d'isolation ayant fait ses preuves en service pour du matériel semblable. Des essais d'endurance mécanique absolus ou non comparatifs ne sont pas possibles actuellement pour les systèmes d'isolation.

L'absence de théories généralement acceptées pour le vieillissement mécanique a favorisé le développement de méthodes empiriques reliant le taux de vieillissement mécanique accéléré au taux de vieillissement en service ou à la performance estimée pour certains types de matériel. Des essais mécaniques fonctionnels utiles pour d'autres types de matériel peuvent être élaborés en utilisant les renseignements du présent rapport, y compris l'annexe A, ainsi qu'en consultant des ouvrages sur les essais d'endurance mécanique.