

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
727-1**

Première édition
First edition
1982

Evaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique

Première partie:

Considérations générales et procédures
d'évaluation basées sur une distribution normale

Evaluation of electrical endurance of electrical insulation systems

Part 1:

General considerations and evaluation
procedures based on normal distributions



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 727-1: 1982

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

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* (VEI).

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 60 000 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
727-1**

Première édition
First edition
1982

Evaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique

Première partie:

Considérations générales et procédures
d'évaluation basées sur une distribution normale

Evaluation of electrical endurance of electrical insulation systems

Part 1:

General considerations and evaluation
procedures based on normal distributions

© CEI 1982 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

P

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Objet et domaine d'application	6
SECTION UN – CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES	
2. Vieillissement	6
2.1 Effets des contraintes électriques	6
2.2 Effet de l'environnement	6
3. Evaluation de la contrainte électrique en tant que facteur de vieillissement	8
3.1 Variables et aspects des essais	8
3.2 Présence d'autres facteurs	10
4. Accélération du vieillissement	10
4.1 Accélération par accroissement du niveau de contrainte	10
4.2 Accélération par accroissement de la fréquence	14
5. Mécanismes de vieillissement	14
SECTION DEUX – PROCÉDURES D'ESSAI	
6. Dispositions générales	16
7. Objets d'essai	16
8. Influence de l'environnement et de la température	18
9. Influence des matériaux associés et des produits de dégradation	18
10. Procédures de vieillissement	18
10.1 Accélération par le niveau de contrainte	20
10.2 Accélération par la fréquence	20
10.3 Tolérances sur les paramètres	20
11. Vérification des mécanismes de vieillissement	20
12. Méthodes de diagnostic et critères de fin de vie	22
13. Variantes de procédures d'essai	22
13.1 Essai continu à niveau de contrainte fixe	22
13.2 Essais à niveaux croissants de contrainte	22
13.3 Essais cycliques	22
14. Rapport – Evaluation des résultats	24
15. Interprétation des données d'essais d'endurance	24
ANNEXE A – Essai à tension croissant par paliers	26

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Object and scope	7
SECTION ONE – GENERAL CONSIDERATIONS	
2. Ageing	7
2.1 Effects of electrical stress	7
2.2 Effect of the environment	7
3. Evaluation of electrical stress as an ageing factor	9
3.1 Test variables and aspects	9
3.2 Presence of other factors	11
4. Ageing acceleration	11
4.1 Acceleration by stress level increase	11
4.2 Acceleration by frequency increase	15
5. Ageing mechanisms	15
SECTION TWO – TEST PROCEDURES	
6. General	17
7. Test objects	17
8. Influence of environment and temperature	19
9. Influence of associated materials and products of degradation	19
10. Ageing procedures	19
10.1 Acceleration by stress level	21
10.2 Acceleration by frequency	21
10.3 Tolerances on parameters	21
11. Verification of ageing mechanisms	21
12. Diagnostic methods and end-point criteria	23
13. Alternative test procedures	23
13.1 Continuous fixed stress levels	23
13.2 Increasing stress levels	23
13.3 Cyclic tests	23
14. Report – Evaluation of results	25
15. Interpretation of electrical endurance data	25
APPENDIX A – Test at step-by-step increasing voltage	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉVALUATION DE L'ENDURANCE ÉLECTRIQUE DES SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE

Première partie: Considérations générales et procédures d'évaluation basées sur une distribution normale

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

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

Des projets furent discutés lors des réunions tenues à Stockholm en 1977 et à Paris en 1980. A la suite de cette dernière réunion, le projet, document 63(Bureau Central)16, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1980.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Etats-Unis d'Amérique
Allemagne	Finlande
Autriche	France
Belgique	Israël
Brésil	Norvège
Bulgarie	Nouvelle-Zélande
Canada	République Démocratique Allemande
Chine	Suède
Corée République démocratique populaire de)	Tchécoslovaquie
Danemark	Turquie
Egypte	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications n°s 270: Mesure des décharges partielles.
- 493-1: Guide pour l'analyse statistique de données d'essais de vieillissement,
Première partie: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués.
- 505: Guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique.
- 610: Principaux aspects de l'évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation électriques; Mécanismes de vieillissement et procédures de diagnostic.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

EVALUATION OF ELECTRICAL ENDURANCE OF ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS

Part 1: General considerations and evaluation procedures based on normal distributions

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.

Drafts were discussed at the meetings held in Stockholm in 1977 and in Paris in 1980. As a result of this meeting, a draft, Document 63(Central Office)16, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1980.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Austria	Germany
Belgium	Israel
Brazil	Korea (Democratic People's
Bulgaria	Republic of)
Canada	New Zealand
China	Norway
Czechoslovakia	South Africa (Republic of)
Denmark	Sweden
Egypt	Turkey
Finland	United States of America
France	Union of Soviet
German Democratic Republic	Socialist Republics

Other IEC publications quoted in this standard:

- Publications Nos. 270: Partial Discharge Measurements.
- 493-1: Guide for the Statistical Analysis of Ageing Test Data,
Part 1: Methods Based on Mean Values of Normally Distributed Test Results.
- 505: Guide for the Evaluation and Identification of Insulation Systems of Electrical Equipment.
- 610: Principal Aspects of Functional Evaluation of Electrical Insulation Systems: Ageing Mechanisms and Diagnostic Procedures.

ÉVALUATION DE L'ENDURANCE ÉLECTRIQUE DES SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE

Première partie: Considérations générales et procédures d'évaluation basées sur une distribution normale

1. Objet et domaine d'application

Le présent rapport a pour objet de guider l'élaboration de procédures d'essais des systèmes d'isolation et de suggérer aux Comités d'Etudes de Matériels les points à prendre en considération dans la préparation des instructions spécifiques pour l'évaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation du matériel électrique.

Dans sa première section, ce rapport présente des renseignements d'ordre général relatifs à l'endurance électrique des systèmes d'isolation.

Dans sa deuxième section, il suggère des procédures d'essai pour le cas où le facteur d'influence électrique est le facteur de vieillissement dominant. Ce rapport suggère aussi des méthodes pour le traitement statistique des données d'endurance électrique normalement distribuées.

Des parties complémentaires de ce rapport traiteront des données d'endurance électrique comportant d'autres distributions statistiques.

SECTION UN – CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

2. Vieillissement

2.1 Effets des contraintes électriques

Les contraintes électriques appliquées à un système d'isolation peuvent avoir des effets de vieillissement susceptibles d'être présents soit seuls, soit en combinaison, dont les principaux sont les suivants:

- les effets des décharges partielles lorsque l'intensité du champ électrique local dépasse la rigidité diélectrique des diélectriques liquides ou gazeux adjacents au système ou inclus dans celui-ci;
- effets de cheminement;
- effets d'arborescence;
- effets d'électrolyse;
- effets, en relation avec ceux qui sont décrits ci-dessus, sur les surfaces en contact de deux matériaux isolants lorsque des champs tangentiels relativement élevés peuvent apparaître, par exemple dans des matériaux présentant des permittivités différentes.

2.2 Effet de l'environnement

L'humidité peut affecter le vieillissement électrique de diverses manières. Elle peut modifier la grandeur ou l'uniformité des conductivités superficielles ou transversales, la distribution du champ électrique, la vitesse de dégradation de l'isolation provoquée par les décharges, la tendance au cheminement et le courant de fuite.

Les matériaux de dégradation produits par les décharges dans des conditions humides peuvent se combiner avec les électrodes, les isolants et l'eau présente. Il peut en résulter une modification du régime de décharges.

EVALUATION OF ELECTRICAL ENDURANCE OF ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS

Part 1: General considerations and evaluation procedures based on normal distributions

1. Object and scope

The purpose of this report is to guide the development of system test procedures and suggest points to be considered by the Equipment Technical Committees in the preparation of specific instructions for the evaluation of electrical endurance of insulation systems for electrical equipment.

In the first section, this report presents background information on the electrical endurance of insulation systems.

In the second section, test procedures are suggested for the case where the electrical factor of influence is a dominating ageing factor. Techniques for statistical treatment of normally distributed electrical endurance data are also suggested.

Additional parts of this report will deal with other statistical distributions of electrical endurance data.

SECTION ONE – GENERAL CONSIDERATIONS

2. Ageing

2.1 *Effects of electrical stress*

Electrical stresses applied to an insulation system may have ageing effects which can be present either alone or in combination, the main ones being:

- effects of partial discharges when the local field strength exceeds the breakdown strength in liquid or gaseous dielectrics adjacent to or included in the system;
- effects of tracking;
- effects of treeing;
- effects of electrolysis;
- effects, related to those above, on the adjacent surfaces of two insulating materials where tangential fields of relatively high values may occur, for example materials having different permittivities.

2.2 *Effect of the environment*

Humidity may affect electrical ageing in various ways. It may alter the level or uniformity of the surface and volume conductivities, the electrical field distribution, the rate of insulation degradation due to discharges, surface tracking tendencies and leakage currents.

Chemicals produced by discharges under humid conditions can combine with electrodes, insulation and humidity. The result can be a change of discharges which occurs subsequently.

L'effet de la température sur les décharges est également complexe. La stabilité des composés chimiques, l'érosion due aux décharges et l'interaction avec l'humidité peuvent complètement changer en fonction de la température. La distribution spatiale des vacuoles à l'intérieur de l'isolation peut aussi être modifiée en fonction des dilatations thermiques.

L'environnement comprend d'autres facteurs que l'humidité et la température, par exemple la pression atmosphérique, les salissures, la poussière, les fumées d'origine chimique, etc. Tous peuvent être d'importants facteurs dans le vieillissement électrique. Il est important d'évaluer le vieillissement électrique en présence de ces autres facteurs s'ils sont présents dans l'ambiance en service.

3. Evaluation de la contrainte électrique en tant que facteur de vieillissement

3.1 Variables et aspects des essais

Comme il est indiqué dans la Publication 505 de la CEI : Guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique, des essais de vieillissement sous tension doivent être faits chaque fois que les contraintes électriques sont présumées agir comme facteur de vieillissement.

Dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de donner des règles complètes et définies pour chaque cas. Les Comités d'Etudes de Matériels de la CEI doivent déterminer, lors de la préparation des procédures d'essai pour le matériel sous leur responsabilité, quels aspects des essais de vieillissement électrique présentent de l'importance pour ces cas spécifiques.

Il est important de reconnaître que les détériorations dues au vieillissement électrique dépendent dans une grande mesure de la nature des systèmes d'isolation. Les variables et les aspects qui ont souvent une importance sensible comprennent la dimension des électrodes, l'épaisseur d'isolation, la concentration des contraintes, la valeur absolue et la fréquence de la tension appliquée, le taux de défaillance aléatoire et les changements du taux de défaillance.

La contrainte électrique est généralement considérée comme un facteur de vieillissement si des décharges partielles, internes ou externes, sont présentes ou si l'on s'attend à leur apparition à la tension de service. Des décharges apparaissant seulement au moment de surtensions peuvent être prises en considération si ces surtensions apparaissent fréquemment ou si elles produisent des décharges partielles qui ne s'éteignent pas à la tension normale de service. La détermination du seuil d'extinction des décharges partielles peut être requise pour la prise en considération des contraintes électriques comme facteur de vieillissement.

Des considérations techniques, basées sur la loi de Paschen, la géométrie du système d'isolation, la permittivité des matériaux isolants et la densité des gaz dans les vacuoles ou sur les surfaces sous contrainte électrique peuvent donner une approche pour la prédétermination de l'existence possible de décharges partielles.

Une autre voie d'approche consiste à mesurer les décharges par des moyens appropriés tels que ceux décrits dans la Publication 270 de la CEI : Mesure des décharges partielles. Lorsque de telles mesures montrent l'absence de décharges partielles dans les limites appropriées de tension, et quand il peut être montré qu'aucun dommage ni aucune réaction électrochimique significative ne peut être associé avec des décharges partielles d'un niveau inférieur au seuil de détection de l'appareillage de mesure utilisé, des essais de vieillissement sous contrainte électrique peuvent ne pas être requis.

Dans quelques cas, un vieillissement électrique a été identifié au cours d'essais où aucune décharge partielle n'était apparue. Les effets de vieillissement résultant des autres aspects de la contrainte électrique, tels que les arborescences, le cheminement ou les effets électrolytiques ne peuvent généralement pas être déterminés par des méthodes de mesure simples et non destructrices appliquées au système d'isolation. Dans ce cas, l'expérience sur des systèmes similaires peut servir de guide pour la prise en considération de ces contraintes comme facteurs de vieillissement. Des essais préliminaires avant vieillissement peuvent donner des informations précieuses sur un effet de ce genre.

Temperature effects on discharges are equally complex. The stability of chemicals, the erosion effects of discharges and interaction with humidity can all change with temperature. Also spatial distribution of voids within insulation changes with thermal expansion.

The environmental conditions include many other factors beyond humidity and temperature, for example atmospheric pressure, dirt, dust, chemical fumes, etc. These are all important factors in electrical ageing. It is important to evaluate the electrical ageing in the presence of these factors if they are part of the environmental conditions in service.

3. Evaluation of electrical stress as an ageing factor

3.1 Test variables and aspects

As stated in IEC Publication 505: Guide for the Evaluation and Identification of Insulation Systems of Electrical Equipment, ageing tests under voltage should be performed whenever electrical stresses are deemed 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. IEC Equipment Technical Committees should determine, when preparing test procedures for equipment under their responsibility, which aspects of electrical ageing tests are important for those specific cases.

It is important to recognize that damaging effects of electrical ageing are very much dependent on the nature of the insulation systems. Variables and aspects which are frequently of importance include electrode size, insulation thickness, stress concentration, absolute voltage level and frequency, probable failure rate and changes in failure rate.

Electrical stress is usually considered as an ageing factor if partial discharges, internal or external, are present or expected to develop at operating voltage. Presence of discharges at overvoltage only, may be taken into account if these overvoltages occur frequently, or if they produce partial discharges not extinguished at normal operating voltage. The determination of partial discharge extinction level may be required in considering electrical stress as an ageing factor.

Technical considerations, based on Paschen's law, the geometry of the insulation system, the permittivity of the insulating materials and the density of the gas in voids, or at electrically stressed surfaces, may give an approach for the predetermination of possible existence of partial discharges.

Another approach consists in measuring these discharges by suitable methods such as those described in IEC Publication 270: Partial Discharge Measurements. When such measurements show no partial discharges over the appropriate voltage range, and when it can be shown that no damage or significant electrochemical reactions will be associated with partial discharges below the threshold of detection for the instrumentation used, ageing tests under electrical stresses may not be required.

In some cases, electrical ageing has been recognized during tests where no partial discharges appeared. Ageing effects resulting from other aspects of electrical stresses, such as treeing, tracking or electrolytic effects, cannot generally be determined by simple non-destructive measurements on an insulation system. In these cases, experience on similar systems may be a guide for the consideration of these stresses as ageing factors. Preliminary tests before ageing may give valuable information on such effects.