

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
727-2**

Première édition
First edition
1993-02

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

Partie 2:

Procédures d'évaluation basées sur des
distributions de valeurs extrêmes

**Evaluation of electrical endurance
of electrical insulation systems**

Part 2:

Evaluation procedures based on
extreme-value distributions

© CEI 1993 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 pro-
cédé, 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

W

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
Articles	
1 Domaine d'application et objet	12
2 Références normatives	12
3 Lois de probabilité	14
3.1 Lois de valeurs extrêmes	14
3.1.1 Loi de Weibull	14
3.1.2 Loi de Gumbel	18
4 Traitement des données d'essai	18
4.1 Données tronquées	18
4.2 Sélection d'une loi de probabilité	20
4.2.1 Papier gradué en probabilité Weibull	20
4.2.2 Papier gradué en probabilité Gumbel	22
4.2.3 Disponibilité du papier gradué	22
4.3 Estimation des paramètres de distribution	22
4.3.1 Estimations graphiques des paramètres	22
4.3.1.1 Estimations graphiques pour la loi de Weibull	24
4.3.1.2 Estimations graphiques pour la loi de Gumbel	24
4.3.2 Estimations calculées des paramètres	24
4.3.2.1 Estimations calculées pour la loi de Weibull	26
4.3.2.2 Estimations calculées pour la loi de Gumbel	26
4.4 Intervalles de confiance pour les paramètres	28
4.4.1 Intervalles de confiance approximatifs pour les paramètres de Weibull	28
4.4.2 Intervalles de confiance approximatifs pour les paramètres de Gumbel	30
4.5 Percentiles	32
4.5.1 Intervalles de confiance pour les percentiles	32
4.5.1.1 Intervalles de confiance pour les percentiles de Weibull	32
4.5.1.2 Intervalles de confiance pour les percentiles de Gumbel	34
5 Comparaisons	34
5.1 Tests à hypothèses rigoureuses	36
5.2 Méthode simplifiée pour comparer les percentiles	36

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
INTRODUCTION	11
Clause	
1 Scope and object	13
2 Normative references	13
3 Probability distributions	15
3.1 Extreme-value distribution	15
3.1.1 Weibull distribution	15
3.1.2 Gumbel distribution	19
4 Treatment of test data	19
4.1 Censored data	19
4.2 Selection of a probability distribution	21
4.2.1 Weibull probability graph paper	21
4.2.2 Gumbel probability graph paper	23
4.2.3 Graph paper availability	23
4.3 Estimation of distribution parameters	23
4.3.1 Graphical estimation of parameters	23
4.3.1.1 Graphical estimates for the Weibull distribution	25
4.3.1.2 Graphical estimates for the Gumbel distribution	25
4.3.2 Calculated estimation of parameters	25
4.3.2.1 Calculated estimates for the Weibull distribution	27
4.3.2.2 Calculated estimates for the Gumbel distribution	27
4.4 Confidence intervals for parameters	29
4.4.1 Approximate confidence intervals for Weibull parameters	29
4.4.2 Approximate confidence intervals for Gumbel parameters	31
4.5 Percentiles	33
4.5.1 Confidence intervals for percentiles	33
4.5.1.1 Confidence intervals for Weibull percentiles	33
4.5.1.2 Confidence intervals for Gumbel percentiles	35
5 Comparisons	35
5.1 Rigorous hypotheses tests	37
5.2 Simplified method to compare percentiles	37

Articles	Pages
6	Interprétation des données d'endurance électrique 38
6.1	Choix d'un modèle de défaillance 38
6.1.1	Modèle de puissance inverse 40
6.1.2	Modèle exponentiel 40
6.2	Traitement des données d'essai 40
6.2.1	Essais sous contrainte de tension croissante 40
6.2.2	Essais sous contrainte de tension constante 42
6.3	Représentation graphique des données 42
6.4	Interprétation 42
6.5	Limitations 42
7	Méthodes d'essai et procès-verbaux 44
 Annexes	
A	Programme BASIC pour calculer $\hat{\alpha}$ et $\hat{\beta}$ 54
B	Ajustement au mieux d'une distribution de Weibull pour des données tronquées multiples 61

Clause	Page
6 Interpretation of electrical endurance data	39
6.1 Choosing a failure model	39
6.1.1 Inverse power model	41
6.1.2 Exponential model	41
6.2 Handling the test data	41
6.2.1 Progressive voltage stress tests	41
6.2.2 Constant voltage stress tests	43
6.3 Plotting the data	43
6.4 Interpretation	43
6.5 Limitations	43
7 Test procedures and reports	45
Annexes	
A BASIC program to calculate $\hat{\alpha}$ and $\hat{\beta}$	54
B Maximum likelihood fit of a Weibull distribution to multiple censored data	61

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 2: Procédures d'évaluation basées sur des distributions de valeurs extrêmes

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**EVALUATION OF ELECTRICAL ENDURANCE OF
ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS****Part 2: Evaluation procedures based on extreme-value distributions**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

La CEI 727-2, rapport technique de type 2, a été établie par le comité d'études 63 de la CEI: Systèmes d'isolation.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Règles des Six Mois	Rapport de vote
63(BC)29	63(BC)32

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

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.4.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine des systèmes d'isolation car il est urgent d'avoir des indications sur la meilleure façon d'utiliser les normes dans ce domaine afin de répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en oeuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

IEC 727-2, which is a technical report of type 2, has been prepared by IEC technical committee 63: Insulation systems.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
63(CO)29	63(CO)32

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

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.4.2.2 of part 1 of the IEC/ISO Directives) as a "prospective standard for provisional application" in the field of insulation systems because there is an urgent requirement for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this type 2 technical report will be carried out not later than three years after its publication, with the options of either extension for a further three years or conversion to an International Standard or withdrawal.

INTRODUCTION

La CEI 727: Evaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique, comprend deux parties:

Partie 1: Considérations générales et procédures d'évaluation basées sur une distribution normale;

Partie 2: Procédures d'évaluation basées sur des distributions de valeurs extrêmes.

INTRODUCTION

IEC 727: Evaluation of electrical endurance of electrical insulation systems, consists of two parts:

- Part 1: General considerations and evaluation procedures based on normal distributions;
- Part 2: Evaluation procedures based on extreme-value distributions.

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

Partie 2: Procédures d'évaluation basées sur des distributions de valeurs extrêmes

1 Domaine d'application et objet

Le présent rapport décrit des méthodes statistiques pour analyser les données sur le temps jusqu'au claquage, à contrainte de tension constante (ou tension de claquage sous contrainte de longue durée à tension croissante) de groupes d'éprouvettes individuelles de systèmes d'isolation électrique, ou de modèles représentant des systèmes isolants. Des exemples numériques sont également inclus.

Ce rapport suppose que le facteur électrique d'influence est le facteur dominant de vieillissement. Si l'on sait ou si l'on suppose que plus d'un facteur d'influence est significatif, il faut se référer à la CEI 792-1.

Ce rapport ne s'applique pas aux données obtenues à partir d'essais de claquage électrique de courte durée sauf ceux utilisés comme facteurs de diagnostic pour d'autres facteurs d'influence à long terme. Lorsqu'on utilise de cette façon pour le diagnostic des facteurs d'influence autres qu'électriques, il faut se référer à d'autres publications appropriées de la CEI citées à l'article 2.

Le présent rapport technique a pour objet de guider dans l'élaboration de procédures d'essai de systèmes et de suggérer aux comités d'études 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.

La partie 1 contient des renseignements d'ordre général sur l'endurance électrique, suggère des procédures d'essai pour le cas où le facteur électrique d'influence est le facteur dominant de vieillissement et suggère des techniques pour le traitement statistique des données d'endurance électrique lorsque leur distribution correspond à une loi normale (gaussienne).

La partie 2 suggère des techniques qui peuvent être utilisées pour des données dont la distribution ne correspond pas bien à une loi normale (gaussienne) mais peut correspondre à une loi de valeurs extrêmes.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent rapport technique. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

EVALUATION OF ELECTRICAL ENDURANCE OF ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS

Part 2: Evaluation procedures based on extreme-value distributions

1 Scope and object

This report describes statistical procedures to analyse data on time-to-breakdown at constant voltage stress (or breakdown voltage under long-term increasing-voltage stress) of groups of individual specimens of electrical insulation systems, or models representing insulating systems. Numerical examples are also included.

This report assumes that the electrical factor of influence is the dominating ageing factor. If it is known or understood that more than one factor of influence is significant, reference should be made to IEC 792-1.

This report does not apply to data derived from short-time electrical breakdown tests except those used as diagnostic factors for other long-term factors of influence. When used in this way for diagnosis of factors of influence other than electrical, reference should be made to other appropriate IEC publications quoted in clause 2.

The purpose of this technical 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.

Part 1 presented background information on electrical endurance, suggested test procedures for the case where the electrical factor of influence is the dominating ageing factor, and suggested techniques for statistical treatment of electrical endurance data when their distribution corresponds to a normal (Gaussian) distribution.

Part 2 suggests techniques that may be used for data whose distribution does not correspond well with a normal (Gaussian) distribution, but may correspond to an extreme value distribution.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this technical report. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this technical report are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

CEI 60-1: 1989, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions généralées relatives aux essais.*

CEI 505: 1975, *Guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique*

CEI 610: 1978, *Principaux aspects de l'évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation électriques: Mécanismes de vieillissement et procédures de diagnostic*

CEI 611: 1978, *Guide pour la préparation de procédures d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des systèmes d'isolation électrique*

CEI 791: 1984, *Evaluation des performances de systèmes d'isolation à partir de l'expérience en service et des résultats d'essai fonctionnels*

CEI 792: 1985, *Essai fonctionnels à plusieurs facteurs de systèmes d'isolation électrique – Partie 1: Procédures d'essai*

IEC 60-1: 1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 505: 1975, *Guide for the evaluation and identification of insulation systems of electrical equipment*

IEC 610: 1978, *Principal aspects of functional evaluation of electrical insulation systems: Ageing mechanisms and diagnostic procedures*

IEC 611: 1978, *Guide for the preparation of test procedures for evaluating the thermal endurance of electrical insulation systems*

IEC 791: 1984, *Performance evaluation of insulation systems based on service experience and functional tests*

IEC 792: 1985, *The multi-factor functional testing of electrical insulation systems – Part 1: Test procedures*