IEC 60493-1

Edition 2.0 2011-12

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Guide for the statistical analysis of ageing test data – Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results

Guide pour l'analyse statistique de données d'essais de vieillissement – Partie 1: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

V

ICS 29.035.01

ISBN 978-2-88912-834-1

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

CONTENTS

FOREWORD 3
INTRODUCTION 5
1 Scope 6
2 Normative references 6
3 Terms, definitions and symbols 6
3.1 Terms and definitions 6
3.2 Symbols 8
4 Calculation procedures 9
4.1 General considerations 9
4.2 Single sub-group – Difference of mean and specified value 9
4.2.1 General 9
4.2.2 Complete data sub-group 9
4.2.3 Censored data sub-group 10
4.3 Two subgroups – Difference of means 10
4.3.1 General 10
4.3.2 Both sub-groups complete 10
4.3.3 One or both subgroups censored 11
4.4 Two or more subgroups – Analysis of variance 11
4.5 Three or more subgroups – Regression analysis 13
4.5.1 Regression analysis – General considerations 13
4.5.2 Calculations 14
4.5.3 Test equality of subgroup variances 15
4.5.4 Test significance of deviations from linearity 16
4.5.5 Estimate and confidence limit of y 16
4.5.6 Estimate and confidence limit of x 16
Annex A (informative) Statistical background 18
Annex B (informative) Statistical tables 22
Bibliography 35

Table B.1 – Coefficients for censored data calculations 23
Table B.2 – Fractiles of the F-distribution, $F_{0,95}$ 30
Table B.3 – Fractiles of the F-distribution, $F_{0,995}$ 32
Table B.4 – Fractiles of the t-distribution, $t_{0,95}$ 34
Table B.5 – Fractiles of the χ^2 -distribution 34

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

GUIDE FOR THE STATISTICAL ANALYSIS OF AGEING TEST DATA –

Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results

FOREWORD

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

International Standard IEC 60493-1 has been prepared by IEC technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1974, and constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the first edition are that, besides a complete editorial revision, censored data sub-group are considered.

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

CDV	Report on voting
112/172/CDV	112/192/RVC

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

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

A list of all the parts in the IEC 60493 series, published under the general title *Guide for the statistical analysis of ageing test data,* can be found on the IEC website.

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

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

INTRODUCTION

Procedures for estimating ageing properties are described in specific test procedures, or are covered by the general documents on test procedures for ageing tests with a specific environmental stress (e.g. temperature, radiation, partial discharges).

In many cases, a certain property is determined as a function of time at different ageing stresses, and a time to failure based on a chosen end-point criterion is found at each ageing stress. A plot of time to failure versus ageing stress may be used to obtain an estimate of the time to failure for similar specimens exposed to a specified stress, or to obtain an estimate of the value of stress which will cause failure in a specified time.

The physical and chemical laws governing the ageing phenomena may often lead to the assumption that a linear relationship exists between the property examined and the ageing time at fixed ageing stresses, or between certain mathematical functions of property and ageing time, e.g. square root or logarithm. Also, there may be a linear relationship between time to failure and ageing stress, or mathematical functions of these variables.

The methods described in this part of IEC 60493 apply to such cases of linear relationship. The methods are illustrated by the example of thermal ageing wherein the case of a simple chemical process it may be assumed that the degradation obeys the Arrhenius law, i.e. the logarithm of time to failure is a linear function of the reciprocal thermodynamic temperature. Numerical examples demonstrating the use of the methods in this case are given in IEC 60216-3 [1][1].

The calculation processes specified in this standard are based on the assumption that the data under examination are normally distributed. No test for normality of the data is specified, since the available tests are unreliable for small sample groups of data. However, the methods have been used for a considerable time without undesirable results and with no check on the normality of the data distributions.

---

1 Figures in square brackets refer to the bibliography.

GUIDE FOR THE STATISTICAL ANALYSIS OF AGEING TEST DATA –

Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results

1 Scope

This part of IEC 60493 gives statistical methods which may be applied to the analysis and evaluation of the results of ageing tests.

It covers numerical methods based on mean values of normally distributed test results.

These methods are only valid under specific assumptions regarding the mathematical and physical laws obeyed by the test data. Statistical tests for the validity of some of these assumptions are also given.

This standard deals with data from both complete test sets and censored test sets.

This standard provides data treatment based on the concept of "data sub-group" as defined in Clause 3. The validity of the coefficients used in the calculation processes to derive statistical parameters of the data groups are described in [1].

2 Normative references

None.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 37
INTRODUCTION 39
1 Domaine d'application 40
2 Références normatives 40
3 Termes, définitions et symboles 40
3.1 Termes et définitions 40
3.2 Symboles 42
4 Méthodes de calcul 43
4.1 Considérations générales 43
4.2 Sous-groupe unique – Différence entre la moyenne et une valeur spécifiée 43
4.2.1 Généralités 43
4.2.2 Sous-groupe de données complètes 44
4.2.3 Sous-groupe de données censurées 44
4.3 Deux sous-groupes – Différence des moyennes 44
4.3.1 Généralités 44
4.3.2 Deux sous-groupes complets 45
4.3.3 Un ou deux sous-groupes censurés 45
4.4 Deux sous-groupes ou plus – Analyse de variance 46
4.5 Trois sous-groupes ou plus – Analyse de régression 48
4.5.1 Analyse de régression – Considérations générales 48
4.5.2 Calculs 48
4.5.3 Essai sur l'égalité des variances des sous-groupes 50
4.5.4 Essai sur la signification des écarts de linéarité 50
4.5.5 Estimateur et limite de confiance de y 50
4.5.6 Estimateur et limite de confiance de x 51
Annexe A (informative) Données statistiques de base 52
Annexe B (informative) Tableaux statistiques 56
Bibliographie 69

Tableau B.1 – Coefficients pour le calcul des données censurées 57
Tableau B.2 – Fractiles de la distribution de F, $F_{0,95}$ 64
Tableau B.3 – Fractiles de la distribution de F, $F_{0,995}$ 66
Tableau B.4 –Fractiles de la distribution de t, $t_{0,95}$ 68
Tableau B.5 – Fractiles de la distribution de χ^2 68

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE POUR L'ANALYSE STATISTIQUE DE DONNÉES D'ESSAIS DE VIEILLISSEMENT –

Partie 1: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60493-1 a été établie par le comité d'études 112 de la CEI: Evaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, publiée en 1974. Elle constitue une révision technique.

Les principales modifications par rapport à la première édition comprennent, outre une révision éditoriale complète, une prise en compte de sous-groupes de données censurées.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
112/172/CDV	112/192/RVC

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60493, publiées sous le titre général *Guide pour l'analyse statistique de données d'essais de vieillissement*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

INTRODUCTION

Des méthodes permettant d'estimer les propriétés de vieillissement sont décrites dans des méthodes d'essais spécifiques ou sont couvertes par des documents généraux décrivant les méthodes suivant lesquelles sont réalisés des essais de vieillissement sous l'effet d'une contrainte d'environnement spécifique (par exemple température, rayonnement, décharges partielles).

Dans de nombreux cas, une propriété donnée est déterminée en fonction du temps sous différentes contraintes de vieillissement et l'on détermine, pour chaque contrainte de vieillissement, un temps jusqu'à la dégradation fondé sur un critère de fin de vie déterminé. Un tracé des variations du temps jusqu'à dégradation, en fonction de la contrainte de vieillissement, peut être utilisé pour obtenir une estimation du temps jusqu'à dégradation d'éprouvettes similaires exposées à une contrainte donnée, ou pour obtenir une estimation de la valeur de la contrainte pour laquelle la dégradation est obtenue en un temps donné.

Les lois physiques et chimiques qui gouvernent les phénomènes de vieillissement peuvent souvent conduire à l'hypothèse d'une relation linéaire reliant la propriété examinée et la durée du vieillissement sous des contraintes de vieillissement déterminées, ou entre des fonctions mathématiques de la propriété et de la durée de vieillissement, par exemple la racine carrée ou le logarithme. De même, il peut y avoir une relation linéaire entre le temps jusqu'à dégradation et la contrainte de vieillissement, ou des fonctions mathématiques de ces variables.

Les méthodes décrites dans la présente partie de la CEI 60493 s'appliquent à de telles relations linéaires. Ces méthodes sont illustrées par l'exemple du vieillissement thermique où, dans le cas d'un simple processus chimique, il peut être supposé que la dégradation suit la loi d'Arrhenius, c'est-à-dire où le logarithme du temps jusqu'à la dégradation est une fonction linéaire de l'inverse de la température thermodynamique. Des exemples numériques illustrant l'utilisation des méthodes dans ce cas sont donnés dans la CEI 60216-3 [1][1].

Les méthodes de calcul spécifiées dans la présente norme sont fondées sur l'hypothèse d'une distribution normale des données étudiées. Aucun essai relatif à la normalité des données n'est spécifié, étant donné que les essais disponibles ne sont pas fiables sur de petits groupes d'échantillons de données. Cependant, ces méthodes sont utilisées depuis longtemps sans résultat indésirable et sans vérification de la normalité des distributions de données.

---

1 Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

GUIDE POUR L'ANALYSE STATISTIQUE DE DONNÉES D'ESSAIS DE VIEILLISSEMENT –

Partie 1: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60493 décrit les méthodes statistiques qui peuvent être appliquées pour l'analyse et l'évaluation des résultats d'essais de vieillissement.

Elle couvre les méthodes numériques fondées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués.

Ces méthodes ne sont valables qu'en formulant des hypothèses relatives aux lois mathématiques et physiques que suivent les résultats d'essais. Des essais statistiques permettant de vérifier la validité de quelques unes de ces hypothèses sont également donnés.

La présente norme traite non seulement des données obtenues à partir d'ensembles d'essais complets mais également d'ensembles d'essais censurés.

Cette norme propose un traitement des données fondé sur le concept de « sous-groupe de données » défini dans l'Article 3. La validité des coefficients utilisés dans les méthodes de calcul pour dériver les paramètres statistiques des groupes de données est décrite dans [1].

2 Références normatives

Aucun.