IEC 61164

Edition 2.0 2004-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Reliability growth – Statistical test and estimation methods

Croissance de la fiabilité – Tests et méthodes d'estimation statistiques

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX XA

ICS 03.120.01; 03.120.30

ISBN 978-2-8322-0050-6

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

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

CONTENTS

FOREWORD 4
INTRODUCTION 6

1 Scope 7
2 Normative references 7
3 Terms and definitions 7
4 Symbols 8
5 Reliability growth models in design and test 12
6 Reliability growth models used for systems/products in design phase 13
6.1 Modified power law model for planning of reliability growth in product design phase 13
6.2 Modified Bayesian IBM-Rosner model for planning reliability growth in design phase 16
7 Reliability growth planning a tracking in the product reliability growth testing 18
7.1 Continuous reliability growth models 18
7.2 Discrete reliability growth model 20
8 Use of the power law model in planning reliability improvement test programmes 23
9 Statistical test and estimation procedures for continuous power law model 23
9.1 Overview 23
9.2 Growth tests and parameter estimation 23
9.3 Goodness-of-fit tests 27
9.4 Confidence intervals on the shape parameter 29
9.5 Confidence intervals on current MTBF 31
9.6 Projection technique 32

Annex A (informative) Examples for planning and analytical models used in design and test phase of product development 37
Annex B (informative) The power law reliability growth model – Background information 50

Bibliography 55

Figure 1 – Planned improvement of the average failure rate or reliability 12
Figure A.1 – Planned and achieved reliability growth – Example 40
Figure A.2 – Planned reliability growth using Bayesian reliability growth model 41
Figure A.3 – Scatter diagram of expected and observed test times at failure based on data of Table A.2 with power law model 48
Figure A.4 – Observed and estimated accumulated failures/accumulated test time based on data of Table A.2 with power law model 49

Table 1 – Categories of reliability growth models with clause references 13
Table 2 – Critical values for Cramér-von Mises goodness-of-fit test at 10 % level of significance 33
Table 3 – Two-sided 90 % confidence intervals for MTBF from Type I testing 35

Table 4 – Two-sided 90 % confidence intervals for MTBF from Type II testing 36

Table A.1 – Calculation of the planning model for reliability growth in design phase 39

Table A.2 – Complete data – All relevant failures and accumulated test times for Type I test 46

Table A.3 – Grouped data for Example 3 derived from Table A.2 46

Table A.4 – Complete data for projected estimates in Example 4 – All relevant failures and accumulated test times 47

Table A.5 – Distinct types of Category B failures, from Table A.4, with failure times, time of first occurrence, number observed and effectiveness factors 47

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RELIABILITY GROWTH – STATISTICAL TEST AND ESTIMATION METHODS

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
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 61164 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1995, and constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition are listed below:

- addition of two statistical models for reliability growth planning and tracking in the product design phase;
- statistical methods for the reliability growth programme in the design phase of IEC 61014;
- addition of the discrete reliability growth model for the test phase;
- addition of the fixed number of faults model for the test phase;
- clarification of the symbols used for various models;
- addition of real life examples for most of the statistical models;
- numerical correction of tables in the reliability growth test example.

This standard should be used in conjunction with IEC 61014.

This bilingual version (2012-03) corresponds to the monolingual English version, published in 2004-03.

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

FDIS	Report on voting
56/920/FDIS	56/939/RVD

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

The French version of this standard has not been voted upon.

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2011. At this date, the publication will be

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

This International Standard describes the power law reliability growth model and related projection model and gives step-by-step directions for their use. There are several reliability growth models available, the power law model being one of the most widely used. This standard provides procedures to estimate some or all of the quantities listed in Clauses 4, 6 and 7 of IEC 61014.

Two types of input are required. The first one is for reliability growth planning through analysis and design improvements in the design phase in terms of the design phase duration, initial reliability, reliability goal, and planned design improvements, along with their expected magnitude. The second input, for reliability growth in the project validation phase, is for a data set of accumulated test times at which relevant failures occurred, or were observed, for a single system, and the time of termination of the test, if different from the time of the final failure. It is assumed that the collection of data as input for the model begins after the completion of any preliminary tests, such as environmental stress screening, intended to stabilize the product's initial failure intensity.

Model parameters estimated from previous test results may be used to plan and predict the course of future reliability growth programmes, provided the conditions are similar.

Some of the procedures may require computer programs, but these are not unduly complex. This standard presents algorithms for which computer programs should be easy to construct.

RELIABILITY GROWTH – STATISTICAL TEST AND ESTIMATION METHODS

1 Scope

This International Standard gives models and numerical methods for reliability growth assessments based on failure data, which were generated in a reliability improvement programme. These procedures deal with growth, estimation, confidence intervals for product reliability and goodness-of-fit tests.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-191:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

IEC 60300-3-5:2001, *Dependability management – Part 3-5: Application guide – Reliability test conditions and statistical test principles*

IEC 60605-4, *Equipment reliability testing – Part 4: Statistical procedures for exponential distribution – Point estimates, confidence intervals, prediction intervals and tolerance intervals*

IEC 60605-6, *Equipment reliability testing – Part 6: Tests for the validity of the constant failure rate or constant failure intensity assumptions*

IEC 61014:2003, *Programmes for reliability growth*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 58
INTRODUCTION 60

1 Domaine d'application 61
2 Références normatives 61
3 Termes et définitions 61
4 Symboles 62
5 Modèles de croissance de la fiabilité en phase de conception et en essai 66
6 Modèles de croissance de la fiabilité utilisés pour les systèmes/produits en phase de conception 68
6.1 Modèle de loi exponentielle modifié pour la planification de la croissance de la fiabilité en phase de conception du produit 68
6.2 Modèle IBM-Rosner bayésien modifié pour la planification de la croissance de la fiabilité en phase de conception 71
7 Planification du suivi de croissance de la fiabilité dans les essais de croissance de la fiabilité 73
7.1 Modèles de croissance de la fiabilité continus 73
7.2 Modèle de croissance de la fiabilité discret 75
8 Utilisation du modèle de loi exponentielle dans la planification des programmes d'essai d'amélioration de la fiabilité 78
9 Test et procédures d'estimation statistiques pour le modèle de loi exponentielle continu 78
9.1 Généralités 78
9.2 Tests de croissance et estimation des paramètres 79
9.3 Tests d'adéquation 83
9.4 Intervalles de confiance du paramètre de forme 85
9.5 Intervalles de confiance pour le MTBF courant 87
9.6 Technique d'extrapolation 88

Annexe A (informative) Exemples de planification et de modèles analytiques utilisés en phase de conception et d'essai de développement du produit 92
Annexe B (informative) Modèle de loi exponentielle pour la croissance de la fiabilité – Informations générales 106

Bibliographie 111

Figure 1 – Planification de l'amélioration du taux de défaillance moyen ou de la fiabilité 67
Figure A.1 – Croissance de la fiabilité planifiée et atteinte – Exemple 95
Figure A.2 – Croissance de la fiabilité planifiée au moyen du modèle bayésien de croissance de la fiabilité 96
Figure A.3 – Diagramme de dispersion des temps d'essai prévu et observé à une défaillance, sur la base des données du Tableau A.2 avec le modèle de loi exponentielle 104
Figure A.4 – Nombre de défaillances cumulées observées et estimées/temps d'essai cumulé sur la base des données du Tableau A.2 avec le modèle de loi exponentielle 105

Tableau 1 – Catégories de modèles de croissance de la fiabilité avec références d'articles 67

Tableau 2 – Valeurs critiques pour le test d'adéquation de Cramér-von Mises à un niveau de signification de 10 % 89

Tableau 3 – Intervalles bilatéraux de confiance à 90 % pour le MTBF dans les essais de Type I 90

Tableau 4 – Intervalles bilatéraux de confiance à 90 % pour le MTBF dans les essais de Type II 91

Tableau A.1 – Calcul du modèle de planification de la croissance de la fiabilité en phase de conception 94

Tableau A.2 – Données complètes – Toutes les défaillances à prendre en compte et les temps d'essais cumulés pour l'essai de Type I 102

Tableau A.3 – Données groupées pour l'Exemple 3, déduites du Tableau A.2 102

Tableau A.4 – Données complètes pour les estimations extrapolées de l'Exemple 4 – Toutes les défaillances à prendre en compte avec des temps d'essai cumulés 102

Tableau A.5 – Différents types de défaillances de Catégorie B du Tableau A.4 avec temps de défaillance, temps de la première occurrence, nombre observé et facteurs d'efficacité 103

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CROISSANCE DE LA FIABILITÉ – TESTS ET MÉTHODES D'ESTIMATION STATISTIQUES

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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61164 a été établie par le comité d'études 56 de la CEI: Sûreté de fonctionnement.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition publiée en 1995, dont elle constitue une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont énumérées ci-dessous:

- ajout de deux modèles statistiques de planification et de suivi de la croissance de la fiabilité en phase de conception du produit;
- méthodes statistiques pour le programme relatif à la croissance de la fiabilité en phase de conception de la CEI 61014;
- ajout du modèle discret de croissance de la fiabilité pour la phase d'essai;
- ajout du nombre fixe de modèles de panne pour la phase d'essai;

– clarification des symboles utilisés pour les différents modèles;
– ajout d'exemples concrets pour la plupart des modèles statistiques;
– correction numérique des tableaux dans l'exemple de test de croissance de la fiabilité.

Il convient d'utiliser cette norme conjointement avec la CEI 61014.

La présente version bilingue (2012-03) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2004-03.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 56/920/FDIS et 56/939/RVD.

Le rapport de vote 56/939/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2011. A cette date, la publication sera

• reconduite;
• supprimée;
• remplacée par une édition révisée, ou
• amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La présente Norme internationale décrit le modèle de loi exponentielle pour la croissance de la fiabilité, ainsi qu'un modèle d'extrapolation connexe et donne les procédures d'utilisation pas à pas de ces modèles. Il existe plusieurs modèles de croissance et celui de la loi exponentielle est l'un des plus utilisés. La présente norme donne des procédures d'estimation de quelques-unes ou de toutes les grandeurs évoquées dans les Articles 4, 6 et 7 de la CEI 61014.

Deux types de donnée d'entrée sont requis. Le premier type est dédié à la planification de la croissance de la fiabilité par le biais d'une analyse et d'améliorations de la conception dans la phase y afférent, en termes de durée de la dite phase, de fiabilité initiale, d'objectif de la fiabilité, et d'améliorations de la conception planifiées, ainsi que de leur importance prévue. Le second type, dédié à la croissance de la fiabilité dans la phase de validation de projet, s'applique à un ensemble de données de temps d'essai cumulés auxquels se sont produites, ou ont été observées pour un système unique, les défaillances à prendre en compte, ainsi que le temps de fin de l'essai au cas où il serait différent de celui de la dernière défaillance. On suppose que la saisie des données à fournir au modèle commence après que le système a subi tous les essais nécessaires, tels que les essais de déverminage, de telle sorte que l'intensité de défaillance initiale du produit soit stabilisée.

Les paramètres de modèles estimés à partir de résultats d'essais antérieurs peuvent être utilisés pour planifier et prévoir le déroulement de programmes futurs de croissance de la fiabilité, sous réserve que les conditions soient semblables.

Quelques-unes de ces procédures peuvent nécessiter des programmes informatiques, mais elles ne sont pas excessivement complexes. La présente norme présente des algorithmes pour lesquels il convient de concevoir facilement des programmes informatiques.

CROISSANCE DE LA FIABILITÉ – TESTS ET MÉTHODES D'ESTIMATION STATISTIQUES

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit des modèles et méthodes numériques permettant d'effectuer des estimations de la croissance de la fiabilité basées sur des données de défaillance élaborées au cours d'un programme d'amélioration de la fiabilité. Ces procédures traitent de la croissance, de l'estimation et des intervalles de confiance pour les essais de fiabilité du produit et d'adéquation.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050-191:1990, *Vocabulaire Électrotechnique International (VEI) – Chapitre 191: Sûreté de fonctionnement et qualité de service*

CEI 60300-3-5:2001, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-5: Guide d'application – Conditions des essais de fiabilité et principes des essais statistiques*

CEI 60605-4, *Essais de fiabilité des équipements – Partie 4: Méthodes statistiques de distribution exponentielle – Estimateurs ponctuels, intervalles de confiance, intervalles de prédiction et intervalles de tolérance*

CEI 60605-6, *Essais de fiabilité des équipements – Partie 6: Tests pour la validité et* l'estimation *du taux de défaillance constant et de l'intensité de défaillance constante*

CEI 61014:2003, *Programmes de croissance de fiabilité*