

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61165

Deuxième édition
Second edition
2006-05

Application des techniques de Markov

Application of Markov techniques



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61165:2006

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI (www.iec.ch)**
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. 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 also available from the following:

- **IEC Web Site (www.iec.ch)**
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

61165

Deuxième édition
Second edition
2006-05

Application des techniques de Markov

Application of Markov techniques

© IEC 2006 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, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives.....	12
3 Termes et définitions	12
4 Symboles et abréviations.....	16
4.1 Symboles utilisés dans les graphes de Markov.....	16
4.2 Autres symboles et abréviations.....	18
4.3 Exemple.....	20
5 Description générale	20
6 Hypothèses et limitations.....	22
7 Relation avec d'autres techniques d'analyse	24
7.1 Généralités.....	24
7.2 Analyse par Arbre de Panne (AAP).....	24
7.3 Diagramme de fiabilité (RBD).....	26
7.4 Réseaux de Petri.....	26
8 Elaboration des graphes de Markov.....	26
8.1 Prérequis	26
8.2 Règles d'élaboration et de représentation	28
9 Evaluation	30
9.1 Généralités.....	30
9.2 Evaluation des mesures de fiabilité	32
9.3 Evaluation des mesures de disponibilité et de maintenabilité.....	32
9.4 Evaluation des mesures de sécurité	34
10 Documentation des résultats	34
Annexe A (informative) Relations mathématiques de base pour les techniques de Markov....	36
Annexe B (Informative) Exemple: Elaboration des graphes de Markov.....	42
Annexe C (informative) Exemple: Evaluation numérique de mesures de fiabilité, disponibilité, maintenabilité et de sécurité pour système en redondance active «1 sur 2»	52
Bibliographie.....	62
Figure 1 – Diagramme des probabilités de transition dans l'intervalle de $(t, t+\Delta t)$, pour une valeur t arbitraire et Δt petit, pour un système à un élément non réparable ayant une défaillance constante λ	20
Figure 2 – Graphe de Markov d'un système à un élément non réparable	20
Figure 3 – Interprétation des temps de défaillance et de rétablissement dans différents contextes	32
Figure B.1 – Graphe de Markov d'un système à un élément apte au rétablissement	42
Figure B.2 – Graphe de Markov à trois états pour système à un élément.....	42
Figure B.3 – Graphe de Markov lorsque des rétablissements peuvent être réalisés à partir de l'état 2 pour système à un élément	42

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	13
2 Normative references	13
3 Terms and definitions	13
4 Symbols and abbreviations.....	17
4.1 Symbols for state transition diagrams.....	17
4.2 Other symbols and abbreviations.....	19
4.3 Example.....	21
5 General description	21
6 Assumptions and limitations	23
7 Relationship with other analysis techniques.....	25
7.1 General.....	25
7.2 Fault Tree Analysis (FTA).....	25
7.3 Reliability Block Diagram (RBD).....	27
7.4 Petri nets.....	27
8 Development of state transition diagrams	27
8.1 Prerequisites	27
8.2 Rules for development and representation.....	29
9 Evaluation	31
9.1 General.....	31
9.2 Evaluation of reliability measures	33
9.3 Evaluation of availability and maintainability measures.....	33
9.4 Evaluation of safety measures.....	35
10 Documentation of results	35
Annex A (informative) Basic mathematical relationships for Markov techniques	37
Annex B (informative) Example: Development of state transition diagrams	43
Annex C (informative) Example: Numerical evaluation of some reliability, availability, maintainability and safety measures for a 1-out-of-2 active redundant system	53
Bibliography.....	63
Figure 1 – Diagram of transition probabilities in time interval $(t, t+\Delta t)$, for arbitrary value of t and small Δt , for a non-restorable one-element system with constant failure rate λ	21
Figure 2 – State transition diagram of a non-restorable one-element system.....	21
Figure 3 - Interpretation of failure and restoration times in different contexts	33
Figure B.1 – State transition diagram for a restorable one-element system	43
Figure B.2 – State transition diagram with three states for a one-element system	43
Figure B.3 – State transition diagram when restorations may be made from state 2 for a one-element system.....	43

Figure B.4 – Graphe de Markov lorsque qu’une transition directe est considérée pour système à un élément	44
Figure B.5 – Graphe de Markov pour l’évaluation de la fiabilité d’un système à un élément ..	44
Figure B.6 – Graphe de Markov pour système à redondance active 1 sur 2 sans élément apte au rétablissement.....	44
Figure B.7 – Graphe de Markov pour système à redondance active 1 sur 2 avec des éléments aptes au rétablissement et sans limitation de rétablissement	46
Figure B.8 – Graphe de Markov pour système à redondance active «1 sur 2» avec des éléments aptes au rétablissement, deux équipes de rétablissement et une cause commune de défaillance du système.....	46
Figure B.9 – Graphe pour système à redondance active «1 sur 2» avec seulement une équipe chargée du rétablissement et une priorité de rétablissement premier entré/premier sorti	48
Figure B.10 – Diagramme de fiabilité pour système à redondance active «2 sur 4».....	50
Figure B.11 – Graphe de Markov regroupé pour le calcul de la fiabilité du système dans la figure B.10.....	50
Figure C.1 – Graphe de Markov pour système à redondance active 1 sur 2 avec des éléments différents et deux équipes chargées du rétablissement	52
Figure C.2 – Graphe de Markov pour système à redondance active 1 sur 2 avec des éléments identiques, deux équipes chargées du rétablissement et avec des ressources illimitées de rétablissement.....	52
Figure C.3 – Exemple numérique pour l’indisponibilité	56
Figure C.4 – Exemple numérique pour le taux de défaillance dangereuse (DFR)	60

Preview generated by EVS

Figure B.4 – State transition diagram when direct transition is considered for a one-element system.....	45
Figure B.5 – State transition diagram for the evaluation of reliability of a one-element system.....	45
Figure B.6 – State transition diagram for a 1-out-of-2 active redundant system with no restorable elements.....	45
Figure B.7 – State transition diagram for a 1-out-of-2 active redundant system with restorable elements, two restoration teams and no restoration limitations.....	47
Figure B.8 – State transition diagram for a 1-out-of-2 active redundant system with restorable elements, two restoration teams and common cause for a system failure.....	47
Figure B.9 – State transition diagram for a 1-out-of-2 active redundant system with only one restoration team and restoration priority as first-in/first-out.....	49
Figure B.10 – Reliability block diagram for a 2-out-of-4 active redundant system.....	51
Figure B.11 – Aggregated state transition diagram for reliability computation of the system in Figure B.10.....	51
Figure C.1 – State transition diagram for 1-out-of-2 active redundant system with different elements and two restoration teams.....	53
Figure C.2 – State transition diagram for a 1-out-of-2 active redundant system with identical elements, two restoration teams and unlimited restoration resources.....	53
Figure C.3 – Numerical example for unavailability.....	57
Figure C.4 – Numerical example for dangerous failure rate.....	61

Preview generated by EVS

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPLICATION DES TECHNIQUES DE MARKOV

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 61165 a été préparée par le Comité d'études 56 de la CEI: Sûreté de fonctionnement.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition publiée en 1995. Elle constitue une révision technique. Cette révision était nécessaire pour faciliter l'application de cette norme pour les analyses de sécurité de même que pour l'importance accrue des solutions numériques comparativement aux solutions analytiques des techniques de Markov.

Les principaux changements par rapport à l'édition précédente sont les suivants:

- les annexes supplémentaires avec application d'exemples ont été retirées.
- la terminologie mathématique et les symboles ont été mis à jour.
- la terminologie a été harmonisée.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

APPLICATION OF MARKOV TECHNIQUES

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 61165 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 revision was necessary in order to facilitate the application of this standard for safety analysis as well as the increased importance of numerical solutions compared to analytical solutions of Markov techniques.

The main changes with respect to the previous edition are the following:

- additional annexes with application examples have been removed.
- the mathematical terminology and symbols have been updated.
- terminology has been harmonised.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/1096/FDIS	56/1111/RVD

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 3.

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

This document is a preview generated by EVS

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

FDIS	Report on voting
56/1096/FDIS	56/1111/RVD

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

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 the maintenance result 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

Plusieurs méthodes analytiques différentes sont disponibles pour évaluer la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité. L'analyse de Markov est l'une de ces méthodes. La CEI 60300-3-1 donne une vue d'ensemble des méthodes disponibles et de leurs caractéristiques générales.

Cette norme définit la terminologie de base et les symboles pour l'application des techniques de Markov. Elle décrit des règles fondamentales pour le développement, la représentation et l'application des techniques de Markov de même que les hypothèses et les limitations de cette approche.

This document is a preview generated by EVS

INTRODUCTION

Several distinct analytical methods for reliability, availability, maintainability and safety analysis are available of which the Markov technique is one. IEC 60300-3-1 gives an overview of available methods and their general characteristics.

This standard defines the basic terminology and symbols for the application of Markov techniques. It describes ground rules for the development, representation and application of Markov techniques as well as assumptions and limitations of this approach.

This document is a preview generated by EVS

APPLICATION DES TECHNIQUES DE MARKOV

1 Domaine d'application

Cette Norme internationale fournit un guide sur l'application des techniques de Markov pour analyser et modéliser un système, et estimer la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et les mesures de sécurité.

Cette norme est applicable à toutes les industries où les systèmes, qui présentent un comportement dépendant de leur état, doivent être analysés. Les techniques de Markov couvertes par cette norme supposent des fréquences de changement d'état constantes, indépendantes du temps. De telles techniques sont souvent appelées globalement «techniques de Markov».

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 Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 191: Sûreté de fonctionnement et qualité de service*

CEI 60300-3-1, *Gestion de la sûreté de fonctionnement – Partie 3-1: Guide d'application – Techniques d'analyse de la sûreté de fonctionnement: Guide méthodologique*

CEI 61508-4:1998, *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 4: Définitions et abréviations*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 60050(191):1990 ainsi que les suivants s'appliquent.

NOTE Pour faciliter l'application de cette norme pour les évaluations de la sécurité, la terminologie de la CEI 61508 est utilisée quand c'est approprié.

3.1

système

ensemble d'éléments interactifs ou reliés entre eux

[ISO 9000, 3.2.1]

NOTE 1 Dans le contexte de la sûreté de fonctionnement, un système aura un but précis exprimé en termes de fonctions prévues, de conditions établies d'exploitation/utilisation, et de limites définies.

NOTE 2 La structure d'un système peut être hiérarchique.

3.2

élément

composant ou ensemble de composants, qui fonctionne comme une entité individuelle

NOTE Un élément peut généralement prendre deux états: disponible ou indisponible (voir 3.4 et 3.5). Pour des raisons pratiques, le terme **état d'élément** sera utilisé pour désigner l'état d'un élément.

APPLICATION OF MARKOV TECHNIQUES

1 Scope

This International Standard provides guidance on the application of Markov techniques to model and analyze a system and estimate reliability, availability, maintainability and safety measures.

This standard is applicable to all industries where systems, which exhibit state-dependent behaviour, have to be analyzed. The Markov techniques covered by this standard assume constant time-independent state transition rates. Such techniques are often called homogeneous Markov techniques.

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 60300-3-1: *Dependability management – Part 3-1: Application guide – Analysis techniques for dependability: Guide on methodology*

IEC 61508-4:1998, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 4: Definitions and abbreviations*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050(191):1990 and the following apply.

NOTE To facilitate the application of this standard for safety evaluations, the terminology from IEC 61508 is used where appropriate.

3.1 system

set of interrelated or interacting elements

[ISO 9000, 3.2.1]

NOTE 1 In the context of dependability, a system will have a defined purpose expressed in terms of intended functions, stated conditions of operation/use, and defined boundaries.

NOTE 2 The structure of a system may be hierarchical.

3.2 element

component or set of components, which function as a single entity

NOTE An element can usually assume only two states: up or down (see 3.4 and 3.5). For convenience the term **element state** will be used to denote the state of an element.