# 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 Varembé, 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 $\Delta t$ petit, pour un système à un élément non réparable ayant une défaillance constante $\lambda$ ..... 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 $\Delta t$, for a non-restorable one-element system with constant failure rate $\lambda$ ..... 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

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

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 du solutions numérique 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.

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.

# 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.

# 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*

# 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*