



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Reliability block diagrams

Diagrammes de fiabilité

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 03.120.01; 03.120.99

ISBN 978-2-8322-3561-4

**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.**

CONTENTS

FOREWORD.....	8
INTRODUCTION.....	10
1 Scope.....	11
2 Normative references.....	11
3 Terms and definitions	11
4 Symbols and abbreviated terms	18
5 Preliminary considerations, main assumptions, and limitations.....	22
5.1 General considerations.....	22
5.2 Pre-requisite/main assumptions.....	23
5.3 Limitations	23
6 Establishment of system success/failed states	24
6.1 General considerations.....	24
6.2 Detailed considerations	24
6.2.1 System operation	24
6.2.2 Environmental conditions	25
6.2.3 Duty cycles	25
7 Elementary models	25
7.1 Developing the model.....	25
7.2 Series structures.....	25
7.3 Parallel structures	26
7.4 Mix of series and parallel structures.....	26
7.5 Other structures	27
7.5.1 m out of n structures.....	27
7.5.2 Structures with common blocks	28
7.5.3 Composite blocks.....	29
7.6 Large RBDs and use of transfer gates	29
8 Qualitative analysis: minimal tie sets and minimal cut sets.....	30
8.1 Electrical analogy.....	30
8.2 Series-parallel representation with minimal success path and cut sets.....	32
8.3 Qualitative analysis from minimal cut sets.....	33
9 Quantitative analysis: blocks with constant probability of failure/success	33
9.1 Series structures.....	33
9.2 Parallel structures	34
9.3 Mix of series and parallel structures.....	34
9.4 m/n architectures (identical items).....	35
10 Quantitative analysis: blocks with time dependent probabilities of failure/success	35
10.1 General.....	35
10.2 Non-repaired blocks	36
10.2.1 General	36
10.2.2 Simple non-repaired block.....	36
10.2.3 Non-repaired composite blocks.....	36
10.2.4 RBDs with non-repaired blocks.....	37
10.3 Repaired blocks	37
10.3.1 Availability calculations	37
10.3.2 Average availability calculations.....	40

10.3.3	Reliability calculations.....	42
10.3.4	Frequency calculations.....	43
11	Boolean techniques for quantitative analysis of large models.....	43
11.1	General.....	43
11.2	Method of RBD reduction	44
11.3	Use of total probability theorem	45
11.4	Use of Boolean truth tables	46
11.5	Use of Karnaugh maps	47
11.6	Use of the Shannon decomposition and binary decision diagrams	49
11.7	Use of Sylvester-Poincaré formula.....	50
11.8	Examples of RBD application.....	51
11.8.1	Models with repeated blocks	51
11.8.2	m out of n models (non-identical items).....	54
12	Extension of reliability block diagram techniques	54
12.1	Non-coherent reliability block diagrams.....	54
12.2	Dynamic reliability block diagrams	57
12.2.1	General	57
12.2.2	Local interactions.....	58
12.2.3	Systemic dynamic interactions.....	59
12.2.4	Graphical representations of dynamic interactions	59
12.2.5	Probabilistic calculations	62
Annex A (informative)	Summary of formulae	63
Annex B (informative)	Boolean algebra methods.....	67
B.1	Introductory remarks	67
B.2	Notation.....	67
B.3	Tie sets (success paths) and cut sets (failure paths) analysis.....	68
B.3.1	Notion of cut and tie sets.....	68
B.3.2	Series-parallel representation using minimal tie and cut sets.....	69
B.3.3	Identification of minimal cuts and tie sets.....	70
B.4	Principles of calculations	71
B.4.1	Series structures	71
B.4.2	Parallel structures	71
B.4.3	Mix of series and parallel structures	73
B.4.4	m out of n architectures (identical items).....	73
B.5	Use of Sylvester Poincaré formula for large RBDs and repeated blocks.....	74
B.5.1	General	74
B.5.2	Sylvester Poincaré formula with tie sets.....	74
B.5.3	Sylvester Poincaré formula with cut sets.....	76
B.6	Method for disjointing Boolean expressions	77
B.6.1	General and background	77
B.6.2	Disjointing principle.....	78
B.6.3	Disjointing procedure	79
B.6.4	Example of application of disjointing procedure.....	79
B.6.5	Comments	81
B.7	Binary decision diagrams	82
B.7.1	Establishing a BDD	82
B.7.2	Minimal success paths and cut sets with BDDs	84
B.7.3	Probabilistic calculations with BDDs	86

B.7.4	Key remarks about the use of BDDs	87
Annex C (informative)	Time dependent probabilities and RBD driven Markov processes	88
C.1	General.....	88
C.2	Principle for calculation of time dependent availabilities	88
C.3	Non-repaired blocks	89
C.3.1	General	89
C.3.2	Simple non-repaired blocks	89
C.3.3	Composite block: example on a non-repaired standby system	89
C.4	RBD driven Markov processes	91
C.5	Average and asymptotic (steady state) availability calculations	92
C.6	Frequency calculations.....	93
C.7	Reliability calculations	94
Annex D (informative)	Importance factors	96
D.1	General.....	96
D.2	Vesely-Fussell importance factor	96
D.3	Birnbaum importance factor or marginal importance factor	96
D.4	Lambert importance factor or critical importance factor	97
D.5	Diagnostic importance factor	97
D.6	Risk achievement worth	98
D.7	Risk reduction worth.....	98
D.8	Differential importance measure	98
D.9	Remarks about importance factors.....	99
Annex E (informative)	RBD driven Petri nets	100
E.1	General.....	100
E.2	Example of sub-PN to be used within RBD driven PN models	100
E.3	Evaluation of the DRBD state	102
E.4	Availability, reliability, frequency and MTTF calculations	104
Annex F (informative)	Numerical examples and curves	105
F.1	General.....	105
F.2	Typical series RBD structure	105
F.2.1	Non-repaired blocks	105
F.2.2	Repaired blocks	106
F.3	Typical parallel RBD structure	107
F.3.1	Non-repaired blocks	107
F.3.2	Repaired blocks	108
F.4	Complex RBD structures	109
F.4.1	Non series-parallel RBD structure.....	109
F.4.2	Convergence to asymptotic values versus MTTR	110
F.4.3	System with periodically tested components	111
F.5	Dynamic RBD example.....	113
F.5.1	Comparison between analytical and Monte Carlo simulation results	113
F.5.2	Dynamic RBD example.....	113
Bibliography	116
Figure 1	– Shannon decomposition of a simple Boolean expression and resulting BDD	18
Figure 2	– Series reliability block diagram	25
Figure 3	– Parallel reliability block diagram	26

Figure 4 – Parallel structure made of duplicated series sub-RBD	26
Figure 5 – Series structure made of parallel reliability block diagram.....	27
Figure 6 – General series-parallel reliability block diagram	27
Figure 7 – Another type of general series-parallel reliability block diagram	27
Figure 8 – 2 out of 3 redundancy.....	28
Figure 9 – 3 out of 4 redundancy.....	28
Figure 10 – Diagram not easily represented by series/parallel arrangement of blocks	28
Figure 11 – Example of RBD implementing dependent blocks	29
Figure 12 – Example of a composite block.....	29
Figure 13 – Use of transfer gates and sub-RBDs	30
Figure 14 – Analogy between a block and an electrical switch.....	30
Figure 15 – Analogy with an electrical circuit	31
Figure 16 – Example of minimal success path (tie set).....	31
Figure 17 – Example of minimal failure path (cut set).....	31
Figure 18 – Equivalent RBDs with minimal success paths	32
Figure 19 – Equivalent RBDs with minimal cut sets.....	33
Figure 20 – Link between a basic series structure and probability calculations	33
Figure 21 – Link between a parallel structure and probability calculations	34
Figure 22 – "Availability" Markov graph for a simple repaired block	38
Figure 23 – Standby redundancy.....	38
Figure 24 – Typical availability of a periodically tested block.....	39
Figure 25 – Example of RBD reaching a steady state.....	41
Figure 26 – Example of RBD with recurring phases	41
Figure 27 – RBD and equivalent Markov graph for reliability calculations	42
Figure 28 – Illustrating grouping of blocks before reduction.....	44
Figure 29 – Reduced reliability block diagrams	44
Figure 30 – Representation of Figure 10 when item A has failed	45
Figure 31 – Representation of Figure 10 when item A is working.....	45
Figure 32 – RBD representing three redundant items.....	46
Figure 33 – Shannon decomposition equivalent to Table 5.....	49
Figure 34 – Binary decision diagram equivalent to Table 5.....	49
Figure 35 – RBD using an arrow to help define system success	51
Figure 36 – Alternative representation of Figure 35 using repeated blocks and success paths.....	51
Figure 37 – Other alternative representation of Figure 35 using repeated blocks and minimal cut sets.....	52
Figure 38 – Shannon decomposition related to Figure 35.....	53
Figure 39 – 2-out-of-5 non-identical items	54
Figure 40 – Direct and inverted block	55
Figure 41 – Example of electrical circuit with a commutator A	55
Figure 42 – Electrical circuit: failure paths	55
Figure 43 – Example RBD with blocks with inverted states.....	56
Figure 44 – BDD equivalent to Figure 43	57
Figure 45 – Symbol for external elements.....	58

Figure 46 – Dynamic interaction between a CCF and RBDs' blocks.....	60
Figure 47 – Various ways to indicate dynamic interaction between blocks	60
Figure 48 – Dynamic interaction between a single repair team and RBDs' blocks	60
Figure 49 – Implementation of a PAND gate	61
Figure 50 – Equivalent finite-state automaton and example of chronogram for a PAND gate	61
Figure 51 – Implementation of a SEQ gate	61
Figure 52 – Equivalent finite-state automaton and example of chronogram for a SEQ gate	62
Figure B.1 – Examples of minimal tie sets (success paths)	68
Figure B.2 – Examples of non-minimal tie sets (non minimal success paths)	68
Figure B.3 – Examples of minimal cut sets	69
Figure B.4 – Examples of non-minimal cut sets.....	69
Figure B.5 – Example of RBD with tie and cut sets of various order	70
Figure B.6 – Reminder of the RBD in Figure 35	82
Figure B.7 – Shannon decomposition of the Boolean function represented by Figure B.6.....	82
Figure B.8 – Identification of the parts which do not matter	83
Figure B.9 – Simplification of the Shannon decomposition	83
Figure B.10 – Binary decision diagram related to the RBD in Figure B.6.....	84
Figure B.11 – Obtaining success paths (tie sets) from an RBD.....	84
Figure B.12 – Obtaining failure paths (cut sets) from an RBD.....	85
Figure B.13 – Finding cut and tie sets from BDDs	85
Figure B.14 – Probabilistic calculations from a BDD.....	86
Figure B.15 – Calculation of conditional probabilities using BDDs	87
Figure C.1 – Principle of time dependent availability calculations	88
Figure C.2 – Principle of RBD driven Markov processes	91
Figure C.3 – Typical availability of RBD with quickly repaired failures	91
Figure C.4 – Example of simple multi-phase Markov process	92
Figure C.5 – Typical availability of RBD with periodically tested failures	92
Figure E.1 – Example of a sub-PN modelling a DRBD block.....	100
Figure E.2 – Example of a sub-PN modelling a common cause failure.....	101
Figure E.3 – Example of DRBD based on RBD driven PN	101
Figure E.4 – Logical calculation of classical RBD structures.....	102
Figure E.5 – Example of logical calculation for an n/m gate	102
Figure E.6 – Example of sub-PN modelling a PAND gate with 2 inputs	103
Figure E.7 – Example of the inhibition of the failure of a block	104
Figure E.8 – Sub-PN for availability, reliability and frequency calculations.....	104
Figure F.1 – Availability/reliability of a typical non-repaired series structure	105
Figure F.2 – Failure rate and failure frequency related to Figure F.1	106
Figure F.3 – Equivalence of a non-repaired series structure to a single block.....	106
Figure F.4 – Availability/reliability of a typical repaired series structure	106
Figure F.5 – Failure rate and failure frequency related to Figure F.4	107
Figure F.6 – Availability/reliability of a typical non-repaired parallel structure	107
Figure F.7 – Failure rate and failure frequency related to Figure F.6	108
Figure F.8 – Availability/reliability of a typical repaired parallel structure	108

Figure F.9 – Vesely failure rate and failure frequency related to Figure F.8	109
Figure F.10 – Example 1 from 7.5.2	109
Figure F.11 – Failure rate and failure frequency related to Figure F.10.....	110
Figure F.12 – Impact of the MTTR on the convergence quickness	111
Figure F.13 – System with periodically tested blocks	112
Figure F.14 – Failure rate and failure frequency related to Figure F.13.....	112
Figure F.15 – Analytical versus Monte Carlo simulation results	113
Figure F.16 – Impact of CCF and limited number of repair teams	114
Figure F.17 – Markov graphs modelling the impact of the number of repair teams	115
Figure F.18 – Approximation for two redundant blocks	115
Table 1 – Acronyms used in IEC 61078	18
Table 2 – Symbols used in IEC 61078	19
Table 3 – Graphical representation of RBDs: Boolean structures	21
Table 4 – Graphical representation of RBDs: non-Boolean structures/DRBD	22
Table 5 – Application of truth table to the example of Figure 32	46
Table 6 – Karnaugh map related to Figure 10 when A is in up state	48
Table 7 – Karnaugh map related to Figure 10 when A is in down state	48
Table 8 – Karnaugh map related to Figure 35	53
Table A.1 – Example of equations for calculating the probability of success of basic configurations	63
Table F.1 – Impact of functional dependencies	114

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RELIABILITY BLOCK DIAGRAMS

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 61078 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2006. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) the structure of the document has been entirely reconsidered, the title modified and the content extended and improved to provide more information about availability, reliability and failure frequency calculations;
- b) Clause 3 has been extended and clauses have been introduced to describe the electrical analogy, the "non-coherent" RBDs and the "dynamic" RBDs;
- c) Annex B about Boolean algebra methods has been extended;
- d) Annex C (Calculations of time dependent probabilities), Annex D (Importance factors), Annex E (RBD driven Petri net models) and Annex F (Numerical examples and curves) have been introduced.

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

FDIS	Report on voting
56/1685/FDIS	56/1694/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.

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 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

A reliability block diagram (RBD) is a pictorial representation of a system's successful functioning. It shows the logical connection of (functioning) components (represented by blocks) needed for successful operation of the system (hereafter referred to as "system success"). Therefore an RBD is equivalent to a logical equation of Boolean variables and the probabilistic calculations are primarily related to constant values of the block success/failure probabilities.

Many different analytical methods of dependability analysis are available, of which the RBD is one. Therefore, the purpose of each method and their individual or combined applicability in evaluating the availability, reliability, failure frequency and other dependability measures as may be applicable to a given system or component should be examined by the analyst prior to deciding to use the RBD. Consideration should also be given to the results obtainable from each method, data required to perform the analysis, complexity of analysis and other factors identified in this standard.

Provided that the blocks in the RBD behave independently from each other and that the order in which failures occur does not matter then the probabilistic calculations can be extended to time dependent probabilistic calculations involving non-repaired as well as repaired blocks (e.g. blocks representing non-repaired or repaired components). In this case three dependability measures related to the system successful functioning have to be considered: the reliability itself, $R_S(t)$, but also the availability, $A_S(t)$ and the failure frequency, $w_S(t)$. While, for systems involving repaired components, the calculations of $A_S(t)$ or $w_S(t)$ can be done quite straightforwardly, the calculation of $R_S(t)$ implies systemic dependencies (see definition 3.34) which cannot be taken into account within the mathematical framework of RBDs. Nevertheless, in particular cases, approximations of $R_S(t)$ are available.

The RBD technique is linked to fault tree analysis [1]¹ and to Markov techniques [2]:

- The underlying mathematics is the same for RBDs and fault tree analysis (FTA): when an RBD is focused on system success, the FT is focused on system failure. It is always possible to transform an RBD into an FT and vice versa. From a mathematical point of view, RBD and FT models share dual logical expressions. Therefore, the mathematical developments and the limitations are similar in both cases.
- When the availability $A_i(t)$ of one block can be calculated by using an individual Markov process [2] independent of the other blocks, this availability, $A_i(t)$, can be used as input for the calculations related to an RBD including this block. This approach where an RBD provides the logic structure and Markov processes numerical values of the availabilities of the blocks is called "RBD driven Markov processes".

For systems where the order of failures is to be taken into account, or where the repaired blocks do not behave independently from each other or where the system reliability, $R_S(t)$, cannot be calculated by analytical methods, Monte Carlo simulation or other modelling techniques, such as dynamic RBDs, Markov [2] or Petri net techniques [3], may be more suitable.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

RELIABILITY BLOCK DIAGRAMS

1 Scope

This International Standard describes:

- the requirements to apply when reliability block diagrams (RBDs) are used in dependability analysis;
- the procedures for modelling the dependability of a system with reliability block diagrams;
- how to use RBDs for qualitative and quantitative analysis;
- the procedures for using the RBD model to calculate availability, failure frequency and reliability measures for different types of systems with constant (or time dependent) probabilities of blocks success/failure, and for non-repaired blocks or repaired blocks;
- some theoretical aspects and limitations in performing calculations for availability, failure frequency and reliability measures;
- the relationships with fault tree analysis (see IEC 61025 [1]) and Markov techniques (see IEC 61165 [2]).

2 Normative references

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

IEC 60050-192, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 192: Dependability* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 61703, *Mathematical expressions for reliability, availability, maintainability and maintenance support terms*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	126
INTRODUCTION.....	128
1 Domaine d'application.....	129
2 Références normatives	129
3 Termes et définitions	129
4 Symboles et termes abrégés.....	137
5 Considérations préalables, hypothèses principales et limitations.....	142
5.1 Considérations générales.....	142
5.2 Prérequis/hypothèses principales	142
5.3 Limitations	143
6 Établissement des états de succès/défaillance	144
6.1 Considérations générales.....	144
6.2 Considérations détaillées	144
6.2.1 Fonctionnement du système.....	144
6.2.2 Conditions environnementales.....	144
6.2.3 Cycles de fonctionnement	145
7 Modèles élémentaires.....	145
7.1 Développement du modèle	145
7.2 Structures série.....	145
7.3 Structures parallèles	146
7.4 Mélange de structures séries et de structures parallèles	146
7.5 Autres structures.....	147
7.5.1 Structures m sur n	147
7.5.2 Structures avec blocs communs	148
7.5.3 Blocs composites	149
7.6 BDF volumineux et utilisation de portes de transfert.....	149
8 Analyse qualitative: ensembles de fermeture minimaux et coupes minimales.	150
8.1 Analogie électrique	150
8.2 Représentation série-parallèle avec chemin de succès minimal et coupes minimales	152
8.3 Analyse qualitative à partir des coupes minimales.....	153
9 Analyse quantitative: blocs avec probabilité constante de défaillance/succès	154
9.1 Structures série.....	154
9.2 Structures parallèles	154
9.3 Mélange de structures séries et de structures parallèles	155
9.4 Architectures m/n (entités identiques)	155
10 Analyse quantitative: blocs avec probabilité de défaillance/succès dépendant du temps.....	156
10.1 Généralités	156
10.2 Blocs non réparés	157
10.2.1 Généralités	157
10.2.2 Bloc non réparé simple.....	157
10.2.3 Blocs composites non réparés.....	157
10.2.4 BDF avec blocs non réparés.....	158
10.3 Blocs réparés.....	158

10.3.1	Calculs de disponibilité	158
10.3.2	Calculs de disponibilité moyenne.....	161
10.3.3	Calculs de fiabilité.....	163
10.3.4	Calculs de fréquence	165
11	Techniques booléennes d'analyse quantitative de grands modèles	165
11.1	Généralités	165
11.2	Méthode de réduction de BDF	166
11.3	Utilisation du théorème des probabilités totales	167
11.4	Utilisation des tables de vérité booléennes	168
11.5	Utilisation des tableaux de Karnaugh.....	170
11.6	Utilisation de la décomposition de Shannon et des diagrammes de décision binaires.....	171
11.7	Utilisation de la formule de Sylvester-Poincaré	173
11.8	Exemples d'application de BDF	174
11.8.1	Modèles avec blocs répétés	174
11.8.2	Modèles m sur n (entités pas identiques)	177
12	Extension des techniques de diagramme de fiabilité	178
12.1	Diagrammes de fiabilité non cohérents	178
12.2	Diagrammes de fiabilité dynamiques.....	181
12.2.1	Généralités	181
12.2.2	Interactions locales	182
12.2.3	Interactions dynamiques systémiques.....	183
12.2.4	Représentations graphiques des interactions dynamiques.....	184
12.2.5	Calculs de probabilité.....	187
Annexe A (informative) Récapitulatif des formules		188
Annexe B (informative) Méthodes algébriques booléennes.....		192
B.1	Remarques préliminaires.....	192
B.2	Notation.....	192
B.3	Analyse des ensembles de fermeture (chemins de succès) et des coupes (chemins de défaillance).....	193
B.3.1	Notion de coupes et d'ensembles de fermeture	193
B.3.2	Représentation série-parallèle à l'aide d'ensembles de fermeture minimaux et de coupes minimales	194
B.3.3	Identification des coupes minimales et des ensembles de fermeture minimaux.....	195
B.4	Principes des calculs.....	196
B.4.1	Structures série	196
B.4.2	Structures parallèles	197
B.4.3	Mélange de structures séries et de structures parallèles	198
B.4.4	Architectures m sur n (entités identiques).....	199
B.5	Utilisation de la formule de Sylvester-Poincaré pour des BDF volumineux et des blocs répétés.....	200
B.5.1	Généralités	200
B.5.2	Formule de Sylvester-Poincaré avec ensembles de fermeture.....	200
B.5.3	Formule de Sylvester-Poincaré avec les coupes	201
B.6	Méthodes pour disjoindre des expressions booléennes	203
B.6.1	Généralités et contexte	203
B.6.2	Principe de disjonction	204
B.6.3	Procédure de disjonction.....	204

B.6.4	Exemple d'application de procédure de disjonction	205
B.6.5	Commentaires.....	207
B.7	Diagrammes de décision binaires	207
B.7.1	Établissement d'un BDD.....	207
B.7.2	Chemins de succès minimaux et coupes minimales avec les BDD	210
B.7.3	Calculs de probabilité avec des BDD	212
B.7.4	Remarques essentielles relatives à l'utilisation des BDD	213
Annexe C (informative)	Probabilités en fonction du temps et processus markoviens pilotés par BDF.....	215
C.1	Généralités	215
C.2	Principe de calcul des disponibilités en fonction du temps.....	215
C.3	Blocs non réparés	216
C.3.1	Généralités	216
C.3.2	Blocs non réparés simples	216
C.3.3	Bloc composite: exemple sur un système en attente non réparé	216
C.4	Processus markoviens pilotés par BDF	218
C.5	Calculs de la disponibilité moyenne et de la disponibilité asymptotique (régime établi).....	220
C.6	Calculs de fréquence.....	221
C.7	Calculs de fiabilité.....	222
Annexe D (informative)	Facteurs d'importance.....	224
D.1	Généralités	224
D.2	Facteur d'importance de Vesely-Fussell.....	224
D.3	Facteur d'importance de Birnbaum ou facteur d'importance marginal.....	224
D.4	Facteur d'importance de Lambert ou facteur d'importance critique.....	225
D.5	Facteur d'importance de diagnostic	225
D.6	Facteur d'augmentation de risque	226
D.7	Facteur de réduction de risque	226
D.8	Facteur d'importance différentiel.....	226
D.9	Remarques relatives aux facteurs d'importance	227
Annexe E (informative)	Réseaux de Petri pilotés par BDF	228
E.1	Généralités	228
E.2	Exemple de sous-RDP utilisable dans les modèles de RDP piloté par BDF.....	228
E.3	Évaluation de l'état du BDFD.....	231
E.4	Calculs de disponibilité, de fiabilité, de fréquence et de MTTF.....	233
Annexe F (informative)	Exemples numériques et courbes	234
F.1	Généralités	234
F.2	Structure de BDF série typique.....	234
F.2.1	Blocs non réparés	234
F.2.2	Blocs réparés.....	235
F.3	Structure de BDF parallèle typique	237
F.3.1	Blocs non réparés	237
F.3.2	Blocs réparés.....	238
F.4	Structures de BDF complexes	239
F.4.1	Structure de BDF non série-parallèle	239
F.4.2	Convergence vers des valeurs asymptotiques par rapport au MTTR.....	241
F.4.3	Système doté de composants périodiquement testés	242
F.5	Exemple de BDF dynamique.....	244

F.5.1	Comparaison entre résultats analytiques et résultats d'une simulation de Monte Carlo	244
F.5.2	Exemple de BDF dynamique	245
	Bibliographie	248
Figure 1	– Décomposition de Shannon d'une expression booléenne simple et diagramme de décision binaire obtenu	137
Figure 2	– Diagramme de fiabilité série	145
Figure 3	– Diagramme de fiabilité parallèle.....	146
Figure 4	– Structure parallèle composée de sous-BDF en série dupliqués.....	146
Figure 5	– Structure série composée de diagrammes de fiabilité parallèles	147
Figure 6	– Diagramme de fiabilité série-parallèle général.....	147
Figure 7	– Autre type de diagramme de fiabilité série-parallèle général	147
Figure 8	– Redondance 2 sur 3	148
Figure 9	– Redondance 3 sur 4	148
Figure 10	– Diagramme non représenté facilement par une disposition en série/parallèle de blocs	148
Figure 11	– Exemple de BDF mettant en œuvre des blocs dépendants	149
Figure 12	– Exemple de bloc composite	149
Figure 13	– Utilisation de portes de transfert et de sous-BDF.....	150
Figure 14	– Analogie entre un bloc et un interrupteur électrique.....	151
Figure 15	– Analogie avec un circuit électrique.....	151
Figure 16	– Exemple de chemin de succès (ensemble de fermeture) minimal.....	151
Figure 17	– Exemple de chemin de défaillance (coupe) minimal.....	152
Figure 18	– BDF équivalents avec chemins de succès minimaux.....	153
Figure 19	– BDF équivalents avec coupes minimales.....	153
Figure 20	– Lien entre une structure série de base et les calculs de probabilité	154
Figure 21	– Lien entre une structure parallèle et les calculs de probabilité	155
Figure 22	– Graphe de Markov de disponibilité pour un bloc réparé simple.....	159
Figure 23	– Redondance en attente.....	159
Figure 24	– Disponibilité typique d'un bloc périodiquement testé	160
Figure 25	– Exemple de BDF atteignant un régime établi.....	162
Figure 26	– Exemple de BDF avec phases récurrentes	163
Figure 27	– BDF et graphe de Markov équivalent pour les calculs de fiabilité	164
Figure 28	– Présentation du groupement de blocs avant réduction.....	166
Figure 29	– Diagrammes de fiabilité réduits.....	166
Figure 30	– Représentation de la Figure 10 lorsque l'entité A est défaillante	167
Figure 31	– Représentation de la Figure 10 lorsque l'entité A fonctionne.....	167
Figure 32	– BDF représentant trois entités redondantes.....	168
Figure 33	– Décomposition de Shannon équivalente au Tableau 5.....	172
Figure 34	– Diagramme de décision binaire équivalent au Tableau 5.....	173
Figure 35	– BDF utilisant une flèche pour aider à définir le succès du système	175
Figure 36	– Autre représentation de la Figure 35 utilisant des blocs répétés et des chemins de succès	175

Figure 37 – Autre représentation de la Figure 35 utilisant les blocs répétés et les coupes minimales	175
Figure 38 – Décomposition de Shannon liée à la Figure 35	177
Figure 39 – 2 sur 5 entités non identiques	177
Figure 40 – Bloc direct et inversé	178
Figure 41 – Exemple de circuit électrique avec un interrupteur A	179
Figure 42 – Circuit électrique: chemins de défaillance.....	179
Figure 43 – Exemple de BDF avec des blocs aux états inversés	180
Figure 44 – BDD équivalent à la Figure 43	181
Figure 45 – Symbole pour les éléments externes	182
Figure 46 – Interaction dynamique entre une DCC et les blocs de BDF	184
Figure 47 – Manières différentes d'indiquer les interactions dynamiques entre les blocs.....	184
Figure 48 – Interaction dynamique entre une équipe de réparation unique et les blocs de BDF.....	185
Figure 49 – Mise en œuvre d'une porte logique PAND	185
Figure 50 – Automate à états finis équivalent et exemple de chronogramme pour une porte logique PAND	186
Figure 51 – Mise en œuvre d'une porte logique SEQ	186
Figure 52 – Automate d'états finis équivalent et exemple de chronogramme pour une porte logique SEQ	187
Figure B.1 – Exemples d'ensembles de fermeture minimaux (chemins de succès).....	193
Figure B.2 – Exemples d'ensembles de fermeture non minimaux (chemins de succès non minimaux).....	193
Figure B.3 – Exemples de coupes minimales.....	194
Figure B.4 – Exemples de coupes non minimales	194
Figure B.5 – Exemple de BDF avec ensembles de fermeture et coupes d'ordre différent ...	195
Figure B.6 – Rappel du BDF de la Figure 35.....	208
Figure B.7 – Décomposition de Shannon de la fonction booléenne représentée par la Figure B.6	208
Figure B.8 – Identification des parties qui n'ont pas d'importance.....	209
Figure B.9 – Simplification de la décomposition de Shannon.....	209
Figure B.10 – Diagramme de décision binaire lié au BDF de la Figure B.6.....	210
Figure B.11 – Obtention de chemins de succès (ensembles de fermeture) à partir d'un BDF.....	211
Figure B.12 – Obtention de chemins de défaillance (coupes) à partir d'un BDF	211
Figure B.13 – Détermination de coupes et d'ensembles de fermeture à partir de BDD	212
Figure B.14 – Calculs de probabilité à partir d'un BDD.....	213
Figure B.15 – Calcul des probabilités conditionnelles à l'aide des BDD	213
Figure C.1 – Principe de calcul des disponibilités en fonction du temps.....	215
Figure C.2 – Principe des processus markoviens pilotés par BDF	218
Figure C.3 – Disponibilité typique du BDF avec défaillances rapidement réparées.....	219
Figure C.4 – Exemple de processus markovien multiphase simple	219
Figure C.5 – Disponibilité typique d'un BDF avec défaillances périodiquement testées	220
Figure E.1 – Exemple de sous-RDP modélisant un bloc BDFD	228
Figure E.2 – Exemple de sous-RDP modélisant une défaillance de cause commune	229
Figure E.3 – Exemple de BDFD reposant sur un RDP piloté par BDF	230

Figure E.4 – Calcul logique de structures de BDF classiques	231
Figure E.5 – Exemple de calcul logique pour une porte logique n/m	231
Figure E.6 – Exemple de sous-RDP modélisant une porte logique PAND avec 2 entrées	231
Figure E.7 – Exemple d'inhibition de la défaillance d'un bloc.....	232
Figure E.8 – Sous-RDP pour les calculs de disponibilité, de fiabilité et de fréquence	233
Figure F.1 – Disponibilité/fiabilité d'une structure série non réparée typique	234
Figure F.2 – Taux de défaillance et fréquence de défaillance liés à la Figure F.1.....	235
Figure F.3 – Équivalence d'une structure série non réparée avec un bloc unique.....	235
Figure F.4 – Disponibilité/fiabilité d'une structure série réparée typique.....	236
Figure F.5 – Taux de défaillance et fréquence de défaillance liés à la Figure F.4.....	236
Figure F.6 – Disponibilité/fiabilité d'une structure parallèle non réparée typique	237
Figure F.7 – Taux de défaillance et fréquence de défaillance liés à la Figure F.6.....	238
Figure F.8 – Disponibilité/fiabilité d'une structure parallèle réparée typique	238
Figure F.9 – Taux de défaillance de Vesely et fréquence de défaillance liés à la Figure F.8.....	239
Figure F.10 – Exemple 1 du 7.5.2.....	240
Figure F.11 – Taux de défaillance et fréquence de défaillance liés à la Figure F.10.....	241
Figure F.12 – Impact du MTTR sur la rapidité de convergence	242
Figure F.13 – Système doté de blocs périodiquement testés	243
Figure F.14 – Taux de défaillance et fréquence de défaillance liés à la Figure F.13.....	244
Figure F.15 – Résultats analytiques versus résultats d'une simulation de Monte Carlo	244
Figure F.16 – Impact de la DCC et du nombre limité d'équipes de réparation	245
Figure F.17 – Graphes de Markov modélisant l'impact du nombre d'équipes de réparation	246
Figure F.18 – Approximation pour deux blocs redondants	247
Tableau 1 – Acronymes utilisés dans l'IEC 61078	137
Tableau 2 – Symboles utilisés dans l'IEC 61078	138
Tableau 3 – Représentation graphique des diagrammes de fiabilité: structures booléennes.....	140
Tableau 4 – Représentation graphique des diagrammes de fiabilité: structures non booléennes/BDFD.....	141
Tableau 5 – Application de la table de vérité à l'exemple de la Figure 32	169
Tableau 6 – Tableau de Karnaugh lié à la Figure 10 lorsque A est disponible.....	170
Tableau 7 – Tableau de Karnaugh lié à la Figure 10 lorsque A est indisponible	170
Tableau 8 – Tableau de Karnaugh lié à la Figure 35	176
Tableau A.1 – Exemple d'équations pour le calcul de la probabilité de succès des configurations de base.....	188
Tableau F.1 – Impact des dépendances fonctionnelles	246

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DIAGRAMMES DE FIABILITÉ

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC 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 IEC 61078 a été établie par le comité d'études 56: Sûreté de fonctionnement.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition publiée en 2006. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) la structure du document a été entièrement remaniée, le titre modifié et le contenu étendu et amélioré afin de fournir de plus amples informations sur les calculs de disponibilité, de fiabilité et de fréquence de défaillance;
- b) l'Article 3 a été étendu et des articles ont été introduits pour décrire l'analogie électrique, les BDF "non cohérents" et les BDF "dynamiques";
- c) l'Annexe B relative aux méthodes algébriques booléennes a été étendue;

d) l'Annexe C (Calculs des probabilités en fonction du temps), l'Annexe D (Facteurs d'importance), l'Annexe E (Modèles de réseau de Petri piloté par BDF) et l'Annexe F (Exemples numériques et courbes) ont été introduites.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/1685/FDIS	56/1694/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/IEC, Partie 2.

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 l'IEC 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

Un diagramme de fiabilité (BDF) est une représentation graphique du bon fonctionnement d'un système. Il montre la connexion logique des composants (en bon état de fonctionnement) (représentés par des blocs) nécessaires au bon fonctionnement du système (ci-après appelé "état de succès du système"). Par conséquent, un BDF équivaut à une équation logique de variables booléennes, et les calculs de probabilité sont essentiellement liés à des valeurs constantes des probabilités de succès/de défaillance des blocs.

De nombreuses méthodes analytiques de sûreté de fonctionnement sont disponibles, le diagramme de fiabilité (BDF) étant l'une d'entre elles. Avant d'utiliser le BDF, il convient que l'analyste examine l'objet de chaque méthode et leur pertinence individuelle ou combinée dans l'évaluation de la disponibilité, de la fiabilité et de la fréquence de défaillance et d'autres mesures de sûreté de fonctionnement pouvant être applicables à un système ou à un composant donné. Il convient que les résultats atteignables avec chaque méthode soient pris en considération, ainsi que les données exigées pour réaliser l'analyse, la complexité de celle-ci, et les autres facteurs identifiés dans la présente norme.

À condition que les blocs du BDF se comportent de manière indépendante les uns des autres et que l'ordre d'occurrence des défaillances n'ait pas d'importance, les calculs de probabilité peuvent être étendus à des calculs de probabilité en fonction du temps impliquant les blocs non réparés et réparés (c'est-à-dire que les blocs représentent des composants non réparés ou réparés). Dans ce cas, trois mesures de sûreté de fonctionnement associées au bon fonctionnement du système doivent être prises en considération: la fiabilité elle-même, $R_S(t)$, mais aussi la disponibilité, $A_S(t)$ et la fréquence de défaillance, $w_S(t)$. Tandis que pour des systèmes impliquant des composants réparés, les calculs de $A_S(t)$ ou $w_S(t)$ peuvent être effectués de manière simple et directe, le calcul de $R_S(t)$ implique des dépendances systémiques (voir définition 3.34) qui ne peuvent être prises en compte dans le cadre mathématique des BDF. Néanmoins, dans des cas particuliers, des approximations de $R_S(t)$ sont disponibles.

La technique BDF est liée à l'analyse par arbre de panne, aussi dénommée arbre de défaillance[1]¹ et aux techniques de Markov [2]:

- Le principe mathématique sous-jacent est le même pour les BDF et l'analyse par arbre de panne (AAP): alors qu'un BDF est axé sur le succès du système, l'AP est axé sur la défaillance du système. Un BDF peut toujours être traduit en AP, et inversement. D'un point de vue mathématique, les modèles BDF et AP partagent des expressions logiques duales. Par conséquent, les développements mathématiques et les limitations sont similaires dans les deux cas.
- Lorsque la disponibilité $A_i(t)$ d'un bloc peut être calculée à l'aide d'un processus markovien individuel [2] indépendant des autres blocs, cette disponibilité, $A_i(t)$, peut être utilisée comme entrée pour les calculs associés à un BDF comprenant ce bloc. Cette approche selon laquelle un BDF fournit la structure logique et les valeurs numériques des processus markoviens les disponibilités des blocs est appelée "processus markoviens pilotés par BDF".

Pour les systèmes pour lesquels l'ordre des défaillances doit être pris en compte, ou si les blocs réparés ne se comportent pas indépendamment les uns des autres, ou si la fiabilité du système, $R_S(t)$, ne peut être calculée par des méthodes analytiques, la simulation de Monte Carlo ou d'autres techniques de modélisation comme les BDF dynamiques, les techniques de Markov [2] ou les réseaux de Petri [3], peuvent être plus adaptées.

¹ Les chiffres indiqués entre crochets font référence à la Bibliographie.

DIAGRAMMES DE FIABILITÉ

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale décrit:

- les exigences à appliquer lors de l'utilisation de diagrammes de fiabilité (BDF) dans le cadre d'analyses de sûreté de fonctionnement;
- les procédures de modélisation de la sûreté de fonctionnement d'un système avec des diagrammes de fiabilité;
- comment utiliser les BDF pour procéder à des analyses qualitatives et quantitatives;
- les procédures d'utilisation du modèle BDF pour calculer les mesures de disponibilité, de fréquence de défaillance et de fiabilité pour différents types de systèmes avec des probabilités constantes (ou dépendant du temps) de succès/défaillance de blocs, et ceci pour des blocs non réparés ou des blocs réparés;
- certains aspects et limitations théoriques liés aux calculs des mesures de disponibilité, de fréquence de défaillance et de fiabilité;
- les relations avec l'analyse par arbre de panne (voir IEC 61025 [1]) et les techniques de Markov (voir IEC 61165 [2]).

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

IEC 60050-192, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 192: Sûreté de fonctionnement* (disponible sur <http://www.electropedia.org>)

IEC 61703, *Expressions mathématiques pour les termes de fiabilité, de disponibilité, de maintenabilité et de logistique de maintenance*