

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



EMC IC modelling –

Part 3: Models of integrated circuits for EMI behavioural simulation – Radiated emissions modelling (ICEM-RE)

Modèles de circuits intégrés pour la CEM –

Partie 3: Modèles de circuits intégrés pour la simulation du comportement lors de perturbations électromagnétiques – Modélisation des émissions rayonnées (ICEM-RE)

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

31.200; 33.100.10

ISBN 978-2-8322-3878-3

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.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions, abbreviations and conventions	9
3.1 Terms and definitions.....	9
3.2 Abbreviations.....	10
3.3 Conventions.....	10
4 Philosophy.....	10
5 ICEM-RE macro-model description	11
5.1 General.....	11
5.2 PDN description.....	12
5.3 IA description.....	16
5.4 Electromagnetic field calculation and simulation	16
6 REML format	17
6.1 General.....	17
6.2 REML structure	18
6.3 Global keywords	19
6.4 Header section.....	19
6.5 Frequency definitions.....	20
6.6 Coordinate system definition.....	20
6.7 Reference definition.....	21
6.8 Validity section	21
6.8.1 General	21
6.8.2 Attribute definitions.....	22
6.9 PDN.....	24
6.9.1 General	24
6.9.2 Attribute definitions.....	25
6.9.3 PDN of a single-frequency ICEM-RE.....	26
6.9.4 PDN for multi-frequency ICEM-RE	29
6.10 IA.....	32
6.10.1 General	32
6.10.2 Attribute definitions.....	33
6.10.3 IA of a single-frequency ICEM-RE	34
6.10.4 IA for multi-frequency ICEM-RE	37
7 Extraction	38
7.1 General.....	38
7.2 Environmental extraction constraints.....	39
7.3 Obtaining model parameters from near-field data.....	39
7.3.1 General	39
7.3.2 PDN	40
7.3.3 IA	42
7.4 Extraction based on ICEM-CE simulation	45
7.4.1 General	45
7.4.2 PDN	45
7.4.3 IA	46
8 Validation	46

Annex A (normative) Preliminary definitions for XML representation	48
A.1 XML basics	48
A.1.1 XML declaration.....	48
A.1.2 Basic elements	48
A.1.3 Root element	48
A.1.4 Comments	48
A.1.5 Line terminations	49
A.1.6 Element hierarchy.....	49
A.1.7 Element attributes	49
A.2 Keyword requirements	49
A.2.1 General	49
A.2.2 Keyword characters	49
A.2.3 Keyword syntax	50
A.2.4 File structure	50
A.2.5 Values	52
Annex B (informative) Electromagnetic fields radiated by an elementary electric and magnetic dipole	55
B.1 Electric dipole	55
B.2 Magnetic dipole.....	57
Annex C (informative) Example files	60
C.1 Minimum default ICEM-RE file	60
C.2 Microcontroller example in REML format.....	61
Annex D (normative) REML valid keywords and usage.....	63
D.1 Root element keywords.....	63
D.2 File header keywords.....	64
D.3 Validity section keywords	65
D.4 Global keywords	65
D.5 Pdn section keywords	66
D.6 Ia section keywords	67
Annex E (informative) ICEM-RE extraction methods	69
E.1 General.....	69
E.2 ICEM-RE Modelling methods	69
E.2.1 Model _{Hman}	69
E.2.2 Model _H	69
E.2.3 Model _{EM_Inv}	71
E.2.4 Model _{EM_Iter}	72
E.2.5 Model _{EM_TD}	72
E.2.6 Model selection guide	73
E.3 ICEM-RE modelling environment from near-field data	73
E.3.1 General	73
E.3.2 Modelling design-flow	74
E.3.3 ICEM-RE importation into 3D electromagnetic tools.....	75
E.4 ICEM-RE modelling from ICEM-CE	76
Annex F (informative) ICEM-RE model validation examples	78
F.1 General.....	78
F.2 Validation on a microcontroller	78
F.2.1 General	78
F.2.2 Details of the microcontroller	78

F.2.3	Case 1: Choosing manual model Model _{Hman}	78
F.2.4	Case 2: Choosing one of the automatic magnetic field models	79
F.3	Validation on an oscillator circuit.....	81
F.4	Example of validation on passive devices	84
F.5	Examples of validation on active devices	85
F.5.1	Extraction from near-field measurements.....	85
F.5.2	Extraction from ICEM-CE model	85
Annex G (informative)	ICEM-RE macro-model usage examples	86
G.1	General.....	86
G.2	Methodology for exploiting ICEM-RE macro-model.....	86
Bibliography		88
Figure 1	General ICEM-RE model structure.....	12
Figure 2	Geometrical representation of the ICEM-RE PDN.....	13
Figure 3	Representation of an elementary dipole in the ICEM-RE PDN	13
Figure 4	An elementary current loop of radius “a” in 3D space	14
Figure 5	Duality theorem between a current loop and a magnetic dipole	14
Figure 6	Example of referential points to describe the geometry	15
Figure 7	PDN definition at three different frequencies	16
Figure 8	REML inheritance hierarchy	18
Figure 9	Format for defining PDN vector data in an external file.....	28
Figure 10	Format for defining IA vector data in an external file.....	36
Figure 11	Electromagnetic field measurement.....	39
Figure 12	B_z field in nT measured at 3 mm above the microprocessor at 80 MHz.....	40
Figure 13	Example of electromagnetic field emitted by an elementary current line	41
Figure 14	Manual current mapping.....	41
Figure 15	Model representation with N automatically detected dipoles	42
Figure 16	Comparison between the modelled and measured EM fields at 2 mm above an oscillator.....	44
Figure 17	A simple ICEM-CE PDN representing the package and the internal network impedance between the power rails	45
Figure 18	Reconstructing the geometry of the package model (ICEM-RE PDN) from IBIS and its link with the electrical model (ICEM-CE PDN)	46
Figure 19	Graphical representation of the example validation procedure.....	47
Figure A.1	Multiple XML files	51
Figure A.2	XML files with data files (*.dat)	51
Figure A.3	XML files with additional files.....	52
Figure B.1	An elementary current line in space	55
Figure B.2	Elementary magnetic dipole in space	57
Figure C.1	Microcontroller used for illustration	61
Figure C.2	Data file representing the PDN information of the microcontroller	62
Figure C.3	Data file representing the IA information of the microcontroller	62
Figure E.1	Manually defined electric dipole array in Model _{Hman}	69
Figure E.2	Electric and magnetic dipole array in Model _{EM_Inv}	71
Figure E.3	Example of an ICEM-RE modelling environment	74

Figure E.4 – ICEM-RE modelling design-flow	75
Figure E.5 – Example of an imported ICEM-RE PDN and IA in a 3D simulation tool	76
Figure E.6 – Design-flow to obtain ICEM-RE from ICEM-CE model	77
Figure F.1 – Microcontroller circuit used for model validation	78
Figure F.2 – Manual dipoles representing the PDN of the microcontroller	79
Figure F.3 – Comparison between the modelled and measured fields at 4 mm above the microcontroller using $Model_{H_{man}}$	79
Figure F.4 – Validation of $Model_H$ on the microcontroller	80
Figure F.5 – Detection of dipoles representing the microcontroller using $Model_{EM_Iter}$	80
Figure F.6 – Validation of $Model_{EM_Iter}$ on the microcontroller	81
Figure F.7 – Oscillator circuit used for model validation	81
Figure F.8 – Schematic of the oscillator used for validation	82
Figure F.9 – Validation of the magnetic field predicted with $Model_{EM_Inv}$ and $Model_{EM_Iter}$ on the oscillator at 10 mm height	83
Figure F.10 – Validation of the electric field predicted with $Model_{EM_Inv}$ and $Model_{EM_Iter}$ on the oscillator at 10 mm height	83
Figure F.11 – Modelled maximum total magnetic field as a function of height (z) above the oscillator compared with measurements	84
Figure G.1 – Typical EMC issues at equipment and system level covered by ICEM-RE	87
Table 1 – PDN format	15
Table 2 – Definition of the <i>Validity</i> section	22
Table 3 – Definition of the <i>Submodel</i> section of the <i>Pdn</i> element	25
Table 4 – Definition of the <i>Vector</i> keyword in the <i>Pdn</i> section	25
Table 5 – Valid fields of the <i>Submodel</i> keyword for single-frequency PDN	27
Table 6 – Conditions for correct annotation of single-frequency PDN by the REM parser	27
Table 7 – Valid fields of the <i>Vector</i> keyword for single-frequency PDN	27
Table 8 – Valid file extensions in the <i>Pdn</i> section	29
Table 9 – Conditions for correct annotation of multi-frequency PDN by the REM parser	30
Table 10 – Definition of the <i>Submodel</i> section of the <i>Ia</i> element	32
Table 11 – Definition of the <i>Vector</i> keyword in the <i>Ia</i> section	33
Table 12 – Valid fields of the <i>Submodel</i> keyword for single-frequency IA	34
Table 13 – Conditions for correct annotation of single-frequency IA by the REM parser	34
Table 14 – Valid fields of the <i>Vector</i> keyword for single-frequency IA	35
Table 15 – Accepted file extensions in the <i>Ia</i> section	37
Table 16 – Conditions for correct annotation of multi-frequency IA by the REM parser	37
Table A.1 – Valid logarithmic units	53
Table E.1 – ICEM-RE model selection guide	73
Table F.1 – ICEM-RE model validation on passive structures	85

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

EMC IC MODELLING –**Part 3: Models of integrated circuits for EMI behavioural simulation –
Radiated emissions modelling (ICEM-RE)****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 62433-3 has been prepared by subcommittee 47A: Integrated Circuits, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47A/1000/FDIS	47A/1008/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.

A list of all parts in the IEC 62433 series, published under the general title *EMC IC modelling*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

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

EMC IC MODELLING –

Part 3: Models of integrated circuits for EMI behavioural simulation – Radiated emissions modelling (ICEM-RE)

1 Scope

This part of IEC 62433 provides a method for deriving a macro-model to allow the simulation of the radiated emission levels of an Integrated Circuit (IC). This model is commonly called Integrated Circuit Emission Model – Radiated Emission, ICEM-RE. The model is intended to be used for modelling a complete IC, with or without its associated package, a functional block and an Intellectual Property (IP) block of both analogue and digital ICs (input/output pins, digital core and supply), when measured or simulated data cannot be directly imported into simulation tools.

The proposed IC macro-model will be inserted in 3D electromagnetic simulation tools so as to:

- predict the near-radiated emissions from the IC
- evaluate the effect of the radiated emissions on neighbouring ICs, cables, transmission lines, etc.

This part of IEC 62433 has two main parts:

- the first is the electrical description of ICEM-RE macro-model elements,
- the second part proposes a universal data exchange format called REML based on XML. This format allows encoding the ICEM-RE in a more useable and generic form for emission simulation.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 TS 62433-1, *EMC IC modelling – Part 1: General modelling framework*

IEC 62433-2, *EMC IC modelling – Part 2: Models of integrated circuits for EMI behavioural simulation – Conducted emissions modelling (ICEM-CE)*

IEC 61967-1, *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz – Part 1: General conditions and definitions*

IEC TS 61967-3, *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions – Part 3: Measurement of radiated emissions – Surface scan method*

ANSI INCITS 4:1986, *Information Systems – Coded Character Sets – 7-Bit American National Standard Code for Information Interchange (7-Bit ASCII)*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	95
1 Domaine d'application	97
2 Références normatives	97
3 Termes, définitions, abréviations et conventions	98
3.1 Termes et définitions	98
3.2 Abréviations	99
3.3 Conventions	100
4 Philosophie	100
5 Description du macromodèle ICEM-RE	100
5.1 Généralités	100
5.2 Description du PDN	102
5.3 Description d'IA	105
5.4 Calcul et simulation du champ électromagnétique	105
6 Format REML	106
6.1 Généralités	106
6.2 Structure REML	107
6.3 Mots-clés globaux	108
6.4 Section <i>Header</i> (en-tête)	108
6.5 Définition de la fréquence	109
6.6 Définition du système de coordonnées	110
6.7 Définition de la référence	110
6.8 Section <i>Validity</i> (validité)	111
6.8.1 Généralités	111
6.8.2 Définitions d'attributs	111
6.9 PDN	113
6.9.1 Généralités	113
6.9.2 Définitions d'attributs	114
6.9.3 PDN d'un ICEM-RE à une seule fréquence	116
6.9.4 PDN d'un ICEM-RE à plusieurs fréquences	119
6.10 IA	121
6.10.1 Généralités	121
6.10.2 Définitions d'attributs	122
6.10.3 IA d'un ICEM-RE à une seule fréquence	124
6.10.4 IA d'un ICEM-RE à plusieurs fréquences	127
7 Extraction	128
7.1 Généralités	128
7.2 Contraintes d'extraction liées à l'environnement	129
7.3 Obtention de paramètres de modèles à partir de données de champ proche	129
7.3.1 Généralités	129
7.3.2 PDN	130
7.3.3 IA	133
7.4 Extraction basée sur une simulation ICEM-CE	135
7.4.1 Généralités	135
7.4.2 PDN	135
7.4.3 IA	136
8 Validation	136

Annexe A (normative) Définitions préliminaires pour la représentation XML	138
A.1 Notions fondamentales du langage XML	138
A.1.1 Déclaration XML	138
A.1.2 Eléments de base	138
A.1.3 Elément racine	138
A.1.4 Commentaires	139
A.1.5 Terminaisons de ligne	139
A.1.6 Hiérarchie des éléments	139
A.1.7 Attributs d'éléments	139
A.2 Exigences relatives aux mots-clés	139
A.2.1 Généralités	139
A.2.2 Caractères des mots-clés	140
A.2.3 Syntaxe des mots-clés	140
A.2.4 Structure d'un fichier	140
A.2.5 Valeurs	143
Annexe B (informative) Champs électromagnétiques rayonnés par un dipôle électrique et magnétique élémentaire	145
B.1 Dipôle électrique	145
B.2 Dipôle magnétique	147
Annexe C (informative) Exemples de fichiers	150
C.1 Fichier ICEM-RE minimal par défaut	150
C.2 Exemple de microcontrôleur au format REML	151
Annexe D (normative) Mots-clés REML valides et usage	153
D.1 Mots-clés de l'élément racine (Root)	153
D.2 Mots-clés d'en-tête (Header) de fichier	154
D.3 Mots-clés de la section validité (Validity)	155
D.4 Mots-clés globaux	155
D.5 Mots-clés de la section réseau de distribution passif (Pdn)	156
D.6 Mots-clés de la section activité interne (IA)	157
Annexe E (informative) Méthodes d'extraction de modèle ICEM-RE	159
E.1 Généralités	159
E.2 Méthodes de modélisation d'ICEM-RE	159
E.2.1 Model _{Hman}	159
E.2.2 Model _H	159
E.2.3 Model _{EM_Inv}	161
E.2.4 Model _{EM_Iter}	162
E.2.5 Model _{EM_TD}	162
E.2.6 Guide de sélection de modèles	163
E.3 Environnement de modélisation ICEM-RE à partir de données de champ proche	164
E.3.1 Généralités	164
E.3.2 Etapes de conception d'une modélisation	164
E.3.3 Importation d'un modèle ICEM-RE dans des outils de simulation électromagnétique en trois dimensions	166
E.4 Modélisation d'ICEM-RE à partir d'un modèle ICEM-CE	167
Annexe F (informative) Exemples de validations de modèles ICEM-RE	170
F.1 Généralités	170
F.2 Validation sur un microcontrôleur	170
F.2.1 Généralités	170

F.2.2	Détails du microcontrôleur	170
F.2.3	Cas 1: choix du modèle manuel Model _{Hman}	170
F.2.4	Cas 2: choix d'un modèle automatique de champ magnétique	171
F.3	Validation du circuit d'un oscillateur	173
F.4	Exemple de validation sur des dispositifs passifs	176
F.5	Exemple de validation sur des dispositifs actifs.....	177
F.5.1	Extraction à partir de mesure en champ proche	177
F.5.2	Extraction à partir du modèle ICEM-CE	178
Annexe G (informative)	Exemples d'utilisation du macromodèle ICEM-RE	179
G.1	Généralités	179
G.2	Méthodologie d'exploitation d'un macromodèle ICEM-RE	179
Bibliographie		181
Figure 1	– Structure générale de modèle ICEM-RE	101
Figure 2	– Représentation géométrique du PDN d'un ICEM-RE	102
Figure 3	– Représentation d'un dipôle élémentaire du PDN d'un ICEM-RE.....	102
Figure 4	– Boucle de courant élémentaire de rayon “a” en 3D	103
Figure 5	– Principe de dualité entre boucle de courant et dipôle magnétique	103
Figure 6	– Exemple de points de référence pour décrire la géométrie	104
Figure 7	– Définition d'un PDN à trois fréquences différentes.....	105
Figure 8	– Hiérarchie des éléments du modèle du REML	107
Figure 9	– Format pour définir des données de vecteur de PDN dans un fichier externe	118
Figure 10	– Format pour définir des données de vecteur d'IA dans un fichier externe	126
Figure 11	– Mesure de champ électromagnétique	129
Figure 12	– Champ B_z en nT mesuré à 3 mm au-dessus d'un microprocesseur à 80 MHz	130
Figure 13	– Exemple de champ électromagnétique émis par une ligne de courant élémentaire.....	131
Figure 14	– Mappage manuel du courant	131
Figure 15	– Représentation de modèle avec N dipôles détectés automatiquement.....	132
Figure 16	– Comparaison entre les champs électromagnétiques modélisés et mesurés à 2 mm au-dessus d'un oscillateur	134
Figure 17	– PDN d'ICEM-CE simple représentant le boîtier et l'impédance interne du réseau entre les lignes d'alimentation	135
Figure 18	– Reconstruction de la géométrie du modèle de boîtier (PDN d'ICEM-RE) à partir d'un modèle IBIS et du modèle électrique (PDN d'ICEM-CE)	136
Figure 19	– Représentation graphique de l'exemple de procédure de validation.....	137
Figure A.1	– Fichiers XML multiples.....	141
Figure A.2	– Fichiers XML avec des fichiers de données (*.dat).....	142
Figure A.3	– Fichiers XML avec des fichiers supplémentaires	142
Figure B.1	– Ligne de courant élémentaire dans l'espace.....	145
Figure B.2	– Dipôle magnétique élémentaire dans l'espace.....	147
Figure C.1	– Représentation du microcontrôleur utilisé	151
Figure C.2	– Fichier de données représentant les informations du PDN du microcontrôleur.....	152

Figure C.3 – Fichier de données représentant les informations de l'IA du microcontrôleur	152
Figure E.1 – Réseau de dipôles électriques définis manuellement dans $Model_{Hman}$	159
Figure E.2 – Réseau de dipôles électriques et magnétiques dans le $Model_{EM_Inv}$	161
Figure E.3 – Exemple d'environnement de modélisation ICEM-RE	164
Figure E.4 – Etapes de conception d'une modélisation d'ICEM-RE	166
Figure E.5 – Exemple de PDN et d'IA d'ICEM-RE importés dans un outil de simulation en trois dimensions	167
Figure E.6 – Etapes de conception pour obtenir un modèle ICEM-RE à partir d'un modèle ICEM-CE	168
Figure F.1 – Circuit de microcontrôleur utilisé pour la validation du modèle	170
Figure F.2 – Dipôles définis manuellement représentant le PDN du microcontrôleur	171
Figure F.3 – Comparaison entre les champs modélisés et mesurés à 4 mm au-dessus du microcontrôleur en utilisant $Model_{Hman}$	171
Figure F.4 – Validation du modèle $Model_H$ sur le microcontrôleur	172
Figure F.5 – Détection de dipôles représentant le microcontrôleur en utilisant le modèle $Model_{EM_Iter}$	172
Figure F.6 – Validation du modèle $Model_{EM_Iter}$ sur le microcontrôleur	173
Figure F.7 – Circuit d'oscillateur utilisé pour la validation du modèle	173
Figure F.8 – Schéma de l'oscillateur utilisé pour la validation	174
Figure F.9 – Validation du champ magnétique prédit avec les modèles $Model_{EM_Inv}$ et $Model_{EM_Iter}$ sur l'oscillateur à 10 mm	175
Figure F.10 – Validation du champ électrique prédit avec les modèles $Model_{EM_Inv}$ et $Model_{EM_Iter}$ sur l'oscillateur à 10 mm	175
Figure F.11 – Comparaison entre le modèle et les mesures du champ magnétique total maximal en fonction de la hauteur (z) au-dessus de l'oscillateur	176
Figure G.1 – Problèmes typiques de compatibilité électromagnétique au niveau d'un équipement ou d'un système couverts par le modèle ICEM-RE	180
Tableau 1 – Format de PDN	104
Tableau 2 – Définition de la section <i>Validity</i>	111
Tableau 3 – Définition de la section <i>Submodel</i> de l'élément <i>Pdn</i>	114
Tableau 4 – Définition du mot-clé <i>Vector</i> pour la section <i>Pdn</i>	115
Tableau 5 – Champs valides du mot-clé <i>Submodel</i> pour un PDN à une seule fréquence	116
Tableau 6 – Conditions pour une annotation correcte d'un PDN à une seule fréquence par l'analyseur syntaxique de modèle d'émissions rayonnées	116
Tableau 7 – Champs valides du mot-clé <i>Vector</i> pour un PDN à une seule fréquence	117
Tableau 8 – Extensions de fichiers valides dans la section <i>Pdn</i>	119
Tableau 9 – Conditions pour une annotation correcte d'un PDN à une plusieurs fréquences par l'analyseur syntaxique de modèle d'émissions rayonnées	120
Tableau 10 – Définition de la section <i>Submodel</i> de l'élément <i>la</i>	122
Tableau 11 – Définition du mot-clé <i>Vector</i> pour la section <i>Pdn</i>	123
Tableau 12 – Champs valides du mot-clé <i>Submodel</i> pour une IA à une seule fréquence	124
Tableau 13 – Conditions pour une annotation correcte d'une IA à une seule fréquence par l'analyseur syntaxique de modèle d'émissions rayonnées	124
Tableau 14 – Champs valides du mot-clé <i>Vector</i> pour une IA à une seule fréquence	125
Tableau 15 – Extensions de fichiers acceptées dans la section <i>la</i>	126

Tableau 16 – Conditions pour une annotation correcte d'une IA à plusieurs fréquences par l'analyseur syntaxique de modèle d'émissions rayonnées	127
Tableau A.1 – Unités logarithmiques valides.....	144
Tableau E.1 – Guide de sélection de modèles ICEM-RE	163
Tableau F.1 – Validation de modèles ICEM-RE sur des structures passives	177

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MODÈLES DE CIRCUITS INTÉGRÉS POUR LA CEM –

**Partie 3: Modèles de circuits intégrés pour la simulation
du comportement lors de perturbations électromagnétiques –
Modélisation des émissions rayonnées (ICEM-RE)**

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 62433-3 a été établie par le sous-comité 47A: Circuits intégrés, du Comité d'étude 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47A/1000/FDIS	47A/1008/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.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62433, publiées sous le titre général *Modèles de circuits intégrés pour la CEM*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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.

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

MODÈLES DE CIRCUITS INTÉGRÉS POUR LA CEM –

Partie 3: Modèles de circuits intégrés pour la simulation du comportement lors de perturbations électromagnétiques – Modélisation des émissions rayonnées (ICEM-RE)

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62433 présente une méthode pour déterminer un macromodèle permettant de simuler les niveaux d'émissions rayonnées d'un circuit intégré. Ce modèle est habituellement appelé: modèle des émissions de circuits intégrés – Emissions rayonnées (ICEM-RE: Integrated Circuit Emission Model – Radiated Emission). Le modèle est destiné à être utilisé pour modéliser un circuit intégré complet, avec ou sans son boîtier, un bloc fonctionnel et un bloc à propriété intellectuelle (IP) de circuits intégrés analogiques et numériques (broches d'entrée/sortie, cœur numérique et alimentation), lorsque les données mesurées ou simulées ne peuvent pas être importées directement dans des outils de simulation.

Le macromodèle de circuit intégré proposé sera inséré dans des outils de simulation électromagnétique en trois dimensions afin de:

- prédire les émissions rayonnées en champ proche par le circuit intégré
- évaluer l'effet des émissions rayonnées sur les circuits intégrés, les câbles, les lignes de transmissions, etc., situés à proximité

La présente partie de l'IEC 62433 comporte deux parties principales:

- la première partie décrit les éléments électriques du macromodèle ICEM-RE,
- la deuxième partie présente un format d'échange de données universel appelé REML basé sur le format XML. Ce format permet de coder le macromodèle ICEM-RE pour obtenir une forme générique plus simple à utiliser pour simuler les émissions.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC TS 62433-1, *Modèles de circuits intégrés pour la CEM – Partie 1: Cadre de modèle général*

IEC 62433-2, *Modèles de circuits intégrés pour la CEM – Partie 2: Modèles de circuits intégrés pour la simulation du comportement lors de perturbations électromagnétiques – Modélisation des émissions conduites (ICEM-CE)*

IEC 61967-1, *Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques, 150 kHz à 1 GHz – Partie 1: Conditions générales et définitions*

IEC TS 61967-3, *Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques – Partie 3: Mesure des émissions rayonnées – Méthode de balayage en surface*

ANSI INCITS 4:1986, *Information Systems – Coded Character Sets – 7-Bit American National Standard Code for Information Interchange (7-Bit ASCII)* (disponible en anglais seulement)