

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



EMC IC modelling –

**Part 4: Models of integrated circuits for RF immunity behavioural simulation –
Conducted immunity modelling (ICIM-CI)**

Modèles de circuits intégrés pour la CEM –

**Partie 4: Modèles de circuits intégrés pour la simulation du comportement
d'immunité aux radiofréquences – Modélisation de l'immunité conduite (ICIM-CI)**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62433-4:2016



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



EMC IC modelling –

**Part 4: Models of integrated circuits for RF immunity behavioural simulation –
Conducted immunity modelling (ICIM-CI)**

Modèles de circuits intégrés pour la CEM –

**Partie 4: Modèles de circuits intégrés pour la simulation du comportement
d'immunité aux radiofréquences – Modélisation de l'immunité conduite (ICIM-CI)**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.200

ISBN 978-2-8322-3417-4

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.....	7
1 Scope.....	9
2 Normative references.....	9
3 Terms, definitions, abbreviations and conventions.....	10
3.1 Terms and definitions.....	10
3.2 Abbreviations.....	11
3.3 Conventions.....	11
4 Philosophy.....	12
5 ICIM-CI model description.....	12
5.1 General.....	12
5.2 PDN description.....	14
5.3 IBC description.....	15
5.4 IB description.....	16
6 CIML format.....	17
6.1 General.....	17
6.2 CIML structure.....	18
6.3 Global keywords.....	19
6.4 Header section.....	19
6.5 Lead definitions.....	20
6.6 SPICE macro-models.....	21
6.7 Validity section.....	23
6.7.1 General.....	23
6.7.2 Attribute definitions.....	23
6.8 PDN.....	25
6.8.1 General.....	25
6.8.2 Attribute definitions.....	26
6.8.3 PDN for a single-ended input or output.....	29
6.8.4 PDN for a differential input.....	36
6.8.5 PDN multi-port description.....	39
6.9 IBC.....	40
6.9.1 General.....	40
6.9.2 Attribute definitions.....	41
6.10 IB.....	42
6.10.1 General.....	42
6.10.2 Attribute definitions.....	43
6.10.3 Description.....	48
7 Extraction.....	50
7.1 General.....	50
7.2 Environmental extraction constraints.....	50
7.3 PDN extraction.....	51
7.3.1 General.....	51
7.3.2 <i>S-/Z-/Y</i> -parameter measurement.....	51
7.3.3 RFIP technique.....	51
7.4 IB extraction.....	52
7.4.1 General.....	52
7.4.2 Direct RF power injection test method.....	52

7.4.3	RF Injection probe test method	54
7.4.4	IB data table	55
7.5	IBC	56
8	Validation of ICIM-CI hypotheses	56
8.1	General	56
8.2	Linearity	57
8.3	Immunity criteria versus transmitted power	58
9	Model usage	59
Annex A (normative)	Preliminary definitions for XML representation	61
A.1	XML basics	61
A.1.1	XML declaration	61
A.1.2	Basic elements	61
A.1.3	Root element	61
A.1.4	Comments	62
A.1.5	Line terminations	62
A.1.6	Element hierarchy	62
A.1.7	Element attributes	62
A.2	Keyword requirements	62
A.2.1	General	62
A.2.2	Keyword characters	63
A.2.3	Keyword syntax	63
A.2.4	File structure	63
A.2.5	Values	65
Annex B (informative)	ICIM-CI example with disturbance load	68
Annex C (informative)	Conversions between parameter types	69
C.1	General	69
C.2	Single-ended input or output	69
C.3	Differential input or output	70
Annex D (informative)	Example of ICIM-CI macro-model in CIML format	74
Annex E (normative)	CIML Valid keywords and usage	79
E.1	Root element keywords	79
E.2	File header keywords	79
E.3	<i>Validity</i> section keywords	81
E.4	Global keywords	81
E.5	<i>Lead</i> keyword	82
E.6	<i>Lead_definitions</i> section attributes	82
E.7	<i>Macromodels</i> section attributes	83
E.8	<i>Pdn</i> section keywords	84
E.8.1	<i>Lead</i> element keywords	84
E.8.2	<i>Netlist</i> section keywords	86
E.9	<i>Ibc</i> section keywords	87
E.9.1	<i>Lead</i> element keywords	87
E.9.2	<i>Netlist</i> section keywords	89
E.10	<i>Ib</i> section keywords	89
E.10.1	<i>Lead</i> element keywords	89
E.10.2	<i>Max_power_level</i> section keywords	91
E.10.3	<i>Voltage</i> section keywords	91
E.10.4	<i>Current</i> section keywords	93

E.10.5	<i>Power</i> section keywords	94
E.10.6	<i>Test_criteria</i> section keywords	95
Annex F (informative)	PDN impedance measurement methods using vector network analyzer	97
F.1	General.....	97
F.2	Conventional one-port method	97
F.3	Two-port method for low impedance measurement.....	97
F.4	Two-port method for high impedance measurement	98
Annex G (informative)	RFIP measurement method description	99
G.1	General.....	99
G.2	Obtaining immunity parameters	99
Annex H (informative)	Immunity simulation with ICIM model based on pass/fail test	101
H.1	ICIM-CI macro-model of a voltage regulator IC	101
H.1.1	General	101
H.1.2	PDN extraction.....	101
H.1.3	IB extraction	101
H.1.4	SPICE-compatible macro-model	102
H.2	Application level simulation and failure prediction	102
Annex I (informative)	Immunity simulation with ICIM model based on non pass/fail test	104
Bibliography		106
Figure 1	– Example of ICIM-CI model structure.....	13
Figure 2	– Example of an ICIM-CI model of an electronic board	14
Figure 3	– Example of an IBC network.....	16
Figure 4	– ICIM-CI model representation with different blocks.....	16
Figure 5	– CIML inheritance hierarchy.....	18
Figure 6	– Example of a netlist file defining a sub-circuit.....	22
Figure 7	– PDN electrical schematics	29
Figure 8	– PDN represented as a one-port black-box.....	29
Figure 9	– PDN represented as S-parameters in Touchstone format	32
Figure 10	– PDN represented as two-port S-parameters in Touchstone format	33
Figure 11	– Example structure for defining the PDN using circuit elements.....	34
Figure 12	– Example of a single-ended PDN Netlist main circuit definition.....	35
Figure 13	– Example of a single-ended PDN Netlist with both sub-circuit and main circuit definitions.....	35
Figure 14	– Differential input schematic.....	37
Figure 15	– PDN represented as a two-port black-box	37
Figure 16	– PDN data format for differential input or output.....	37
Figure 17	– Differential inputs of an operational amplifier example	39
Figure 18	– ICIM-CI Model for a 74HC08 component	40
Figure 19	– Example IB file obtained from DPI measurement	50
Figure 20	– Test setup of the DPI immunity measurement method as specified in IEC 62132-4	52
Figure 21	– Principle of single and multi-pin DPI.....	53
Figure 22	– Electrical representation of the DPI test setup	54
Figure 23	– Test setup of the RFIP measurement method derived from the DPI method	55

Figure 24 – Example setup used for illustrating ICIM-CI hypotheses	57
Figure 25 – Example of linearity assumption validation	58
Figure 26 – Example of transmitted power criterion validation	59
Figure 27 – Use of the ICIM-CI macro-model for simulation	59
Figure A.1 – Multiple XML (CIML) files	64
Figure A.2 – XML files with data files (*.dat)	64
Figure A.3 – XML files with additional files	65
Figure B.1 – ICIM-CI description applied to an oscillator stage for extracting IB.....	68
Figure C.1 – Single-ended DI	69
Figure C.2 – Differential DI	70
Figure C.3 – Two-port representation of a differential DI	70
Figure C.4 – Simulation of common-mode injection on a differential DI based on DPI	72
Figure C.5 – Equivalent common-mode input impedance of a differential DI	72
Figure C.6 – Determination of transmitted power for a differential DI	72
Figure D.1 – Test setup on an example LIN transceiver	74
Figure D.2 – PDN data in touchstone format (s2p), data measured using VNA	76
Figure D.3 – PDN data of leads 6 (LIN) and 7 (VCC)	77
Figure D.4 – IB data in ASCII format (.txt), data measured using DPI method – Injection on VCC pin	77
Figure D.5 – IB data for injection on VCC pin.....	78
Figure F.1 – Conventional one-port S-parameter measurement.....	97
Figure F.2 – Two-port method for low impedance measurement.....	98
Figure F.3 – Two-port method for high impedance measurement.....	98
Figure G.1 – Test setup of the RFIP measurement method derived from DPI method	99
Figure G.2 – Principle of the RFIP measurement method.....	99
Figure H.1 – Electrical schematic for extracting the voltage regulator's ICIM-CI.....	101
Figure H.2 – ICIM-CI extraction on the voltage regulator example	102
Figure H.3 – Example of a SPICE-compatible ICIM-CI macro-model of the voltage regulator.....	102
Figure H.4 – Example of a board level simulation on the voltage regulator's ICIM-CI with PCB model and other components including parasitic elements	103
Figure H.5 – Incident power as a function of frequency that is required to create a defect with a 10 nF filter.....	103
Figure I.1 – Example of an IB file for a given failure criterion	104
Figure I.2 – Comparison of simulated transmitted power and measured immunity behaviour	105
Table 1 – Attributes of <i>Lead</i> keyword in the <i>Lead_definitions</i> section	20
Table 2 – Compatibility between the <i>Mode</i> and <i>Type</i> fields for correct CIML annotation.....	20
Table 3 – <i>Subckt</i> definition.....	21
Table 4 – Definition of the <i>Validity</i> section	23
Table 5 – Definition of the <i>Lead</i> keyword for <i>Pdn</i> section	25
Table 6 – Valid data formats and their default units in the <i>Pdn</i> section	28
Table 7 – Valid file extensions in the <i>Pdn</i> section	28
Table 8 – Valid fields of the <i>Lead</i> keyword for single-ended PDN	30

Table 9 – <i>Netlist</i> definition.....	34
Table 10 – Valid fields of the <i>Lead</i> keyword for differential PDN.....	38
Table 11 – Differences between the <i>Pdn</i> and <i>Ibc</i> section fields	41
Table 12 – Valid fields of the <i>Lead</i> keyword for IBC definition	42
Table 13 – Definition of the <i>Lead</i> keyword in <i>Ib</i> section.....	43
Table 14 – <i>Max_power_level</i> definition	44
Table 15 – <i>Voltage</i> , <i>Current</i> and <i>Power</i> definition	45
Table 16 – <i>Test_criteria</i> definition	45
Table 17 – Default values of <i>Unit_voltage</i> , <i>Unit_current</i> and <i>Unit_power</i> tags as a function of data format	48
Table 18 – Valid file extensions in the <i>Ib</i> section.....	48
Table 19 – Example of IB table pass/fail criteria	56
Table A.1 – Valid logarithmic units	66
Table C.1 – Single-ended parameter conversion.....	70
Table C.2 – Differential parameter conversion	71
Table C.3 – Power calculation	73
Table E.1 – Root element keywords	79
Table E.2 – <i>Header</i> section keywords.....	80
Table E.3 – <i>Validity</i> section keywords	81
Table E.4 – Global keywords.....	82
Table E.5 – <i>Lead</i> element definition	82
Table E.6 – <i>Lead_definitions</i> section keywords.....	83
Table E.7 – <i>Macromodels</i> section keywords	83
Table E.8 – <i>Lead</i> element keywords in the <i>Pdn</i> section.....	84
Table E.9 – Netlist section keywords.....	87
Table E.10 – <i>Lead</i> element keywords in the <i>Ibc</i> section	87
Table E.11 – <i>Lead</i> element keywords in the <i>Ib</i> section.....	90
Table E.12 – <i>Max_power_level</i> section keywords	91
Table E.13 – <i>Voltage</i> section keywords	92
Table E.14 – <i>Current</i> section keywords	93
Table E.15 – <i>Power</i> section keywords	94
Table E.16 – <i>Test_criteria</i> section keywords.....	96

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

EMC IC MODELLING –

Part 4: Models of integrated circuits for RF immunity behavioural simulation – Conducted immunity modelling (ICIM-CI)

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 62433-4 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/988/FDIS	47A/989/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 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62433-4:2016

EMC IC MODELLING –

Part 4: Models of integrated circuits for RF immunity behavioural simulation – Conducted immunity modelling (ICIM-CI)

1 Scope

This part of IEC 62433 specifies a flow for deriving a macro-model to allow the simulation of the conducted immunity levels of an integrated circuit (IC). This model is commonly called Integrated Circuit Immunity Model – Conducted Immunity, ICIM-CI. It is intended to be used for predicting the levels of immunity to conducted RF disturbances applied on IC pins.

In order to evaluate the immunity threshold of an electronic device, this macro-model will be inserted in an electrical circuit simulation tool.

This macro-model can be used to model both analogue and digital ICs (input/output, digital core and supply). This macro-model does not take into account the non-linear effects of the IC.

The added value of ICIM-CI is that it could also be used for immunity prediction at board and system level through simulations.

This part of IEC 62433 has two main parts:

- the electrical description of ICIM-CI macro-model elements;
- a universal data exchange format called CIML based on XML. This format allows ICIM-CI to be encoded in a more useable and generic form for immunity simulation.

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 62132-1, *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic immunity – Part 1: General conditions and definitions*

IEC 62132-4, *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic immunity 150 kHz to 1 GHz – Part 4: Direct RF power injection method*

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

ISO 8879: 1986, *Information processing – Text and office systems – Standard Generalized Markup Language (SGML)*

ISO/IEC 646: 1991, *Information technology – ISO 7-bit coded character set for information interchange (7-Bit ASCII)*

CISPR 17, *Methods of measurement of the suppression characteristics of passive EMC filtering devices*

3 Terms, definitions, abbreviations and conventions

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1.1 section

XML element placed one level below the root element or within another section and that contains one or more XML elements, but no value

3.1.2 parent

keyword which is one level above another keyword

3.1.3 child

keyword which is one level below another keyword

3.1.4 external terminal

terminal of an integrated circuit macro-model which interfaces the model to the external environment of the integrated circuit

EXAMPLE Power supply pins and input/output pins.

Note 1 to entry: In this part of IEC 62433, a terminal is by default considered as external unless otherwise stated.

[SOURCE: IEC 62433-2:2008, 3.1, modified – Note 1 to entry has been changed, Example has been added]

3.1.5 internal terminal

terminal of an integrated circuit macro-model's component which interfaces the component to other components of the integrated circuit macro-model

[SOURCE: IEC 62433-2:2008, 3.2]

3.1.6 parser

tool for syntactic analysis of data that is encoded in a specified format

3.1.7 CIML

Conducted Immunity Markup Language
data exchange format for ICIM-CI model

3.1.8 CIMLBase

Conducted Immunity Markup Language Base
abstract type from which all CIML model components are directly or indirectly derived in the ICIM-CI model definition

3.1.9 DI

Disturbance Input
input terminal for the injection of RF disturbances

Note 1 to entry: It could be any pin of IC, an input, supply or an output.

3.1.10**DO**

Disturbance Output

terminal whose load influences the impedance of DI terminal, and/or the transfer characteristics of PDN, and that outputs a part of the disturbance received on the DI terminals

3.1.11**OO**

Observable Output

output terminal where the immunity criteria are monitored during the test

3.1.12**GND**

Ground terminal

terminal that is used as reference for return path

3.1.13**PDN**

Passive Distribution Network

block that describes the impedance network of one or more ports of the integrated circuit

3.1.14**IB**

Immunity Behaviour

block that describes the internal immunity behaviour of the IC

3.1.15**IBC**

Inter Block Coupling

block that describes the coupling network between different PDN blocks within an IC

[SOURCE: IEC TS 62433-1:2011, 3.3]

3.1.16**VNA**

Vector Network Analyzer

instrument to measure complex network parameters such as S -, Y - or Z - parameters in the frequency domain

3.1.17**RFIP**

Radio Frequency Injection Probe

probe for injecting RF disturbances into a pin of an IC allowing measurement of voltage and current

3.2 Abbreviations

CIM Conducted Immunity Model

XML eXtensible Markup Language

SPICE Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis

ESD ElectroStatic Discharge

3.3 Conventions

For the sake of clarity, but with some exceptions, the writing conventions of XML have been used in text and tables.

4 Philosophy

Integrated circuits contain more and more gates, the integration density of technologies is increasing and supply voltages are becoming lower. The reduction of distance between on-chip signals, die geometry size reduction and the increase of unwanted currents in parasitic structures, such as isolation capacitances, leads to increased internal crosstalk. Consequently, the immunity of integrated circuits is becoming more and more critical.

Due to this increased risk of lower IC immunity, the use of models and simulation tools is required to optimize the immunity behaviour of both the IC and the application.

This part of IEC 62433 describes such macro-models for simulating immunity behaviour at the IC level. The model, called ICIM-CI, will be used to predict electromagnetic immunity at the application level. This model is based on files describing the PDN and the IB containing data on electromagnetic disturbances leading to a variation of one or more observable signals. The PDN is considered to be linear, while the inherent non-linearity of the IC is taken into account in the IB. This assumption is shown in 8.2 (see Figure 25). Users of the model should apply a failure criterion to the observable signal depending on their requirements.

ICIM-CI model data is arranged in a decipherable nested manner using XML format. The objective of this exchange format, called Conducted Immunity Markup Language (CIML), is to create simple and practical universal access to the ICIM-CI model. The preliminary definitions for XML representation are given in Annex A.

5 ICIM-CI model description

5.1 General

The internal structure of an IC can be broken down into two parts:

- a) Passive parts (parasitic elements of pins, bondings and tracks, ESD protection), which conduct the disturbances from the external environment to the internal IC blocks,
- b) Active parts (CPU core, clock system, memory, analogue blocks). It is these active internal blocks which are sensitive to the incoming disturbances.

The ICIM-CI model consists of a set of data describing these two parts:

- PDN: the Passive Distribution Network is a multi-port circuit. It is composed of four different terminals:
 - DI: Terminals to which disturbances are applied,
 - DO: Terminals that can influence the impedance of the DI terminals and consequently receive a part of the disturbance applied on the DI terminals,
 - GND: PDN shall have one or more ground terminals (such as digital ground, analogue ground),
 - Internal terminals: Terminals that can influence the impedance of the DI terminals and are internal to the IC (at chip-level).
- IB: The Immunity Behaviour component that describes how the IC reacts to the applied disturbances (referenced to one ground terminal of the PDN). The immunity criterion is set on terminals that are called Observable Output (OO). These OO could be associated or not to the various DI, depending on the configuration of the IC.

NOTE 1 DI, DO, OO and GND terminals are external terminals and are interfaced at pin level. These pins connect to the external environment of the IC.

NOTE 2 OO terminals link the PDN to the IB. Though these terminals are external on the IC and are used to obtain the IB by monitoring the immunity criterion, they are virtually represented (internally) on the PDN of the ICIM-CI macro-model.

Figure 1 represents an example of ICIM-CI model structure.

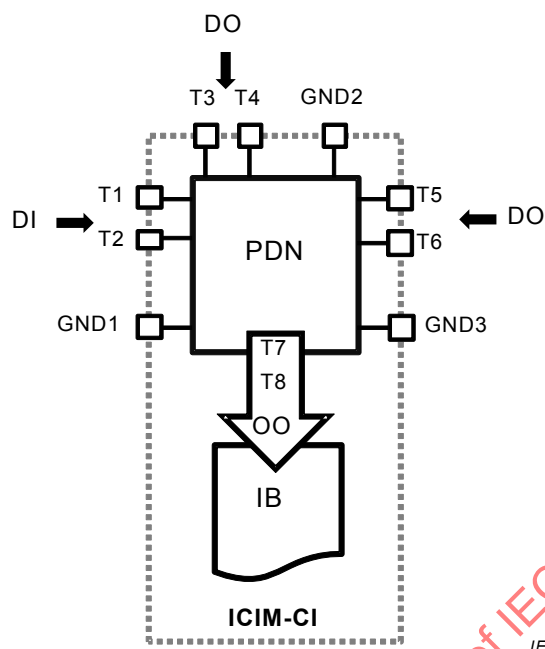


Figure 1 – Example of ICIM-CI model structure

There is no direct electrical connection between the PDN block and IB block. The PDN represents the input impedance of the DI. The power entering the DI is calculated by simulation based on the PDN and the external environment. IB links the power entering the DI to an immunity criterion monitored at OO. The IB is obtained by an immunity measurement of the IC, by means of monitoring the OO terminal.

Depending on the IC's operating conditions and stability, DO terminals may be present. One such example is illustrated in Annex B.

Different ICIM-CI models can be combined to model and describe a full electronic system such as an electronic board. That proposed structure can also be used to model an item of equipment. The DO terminal of one ICIM-CI model can be used to connect with the different terminals of neighbouring ICIM-CI blocks.

Figure 2 gives an example of a complete ICIM-CI model of an electronic board. The board is fully described by three stand-alone ICIM-CI models. T12 and T21 are connected together and they receive the same disturbance. The ICIM-CI_1 propagates a fraction of its disturbance to the ICIM-CI_3 model through its T14 (DO) terminal, which is connected to the T31 (DI) terminal of the ICIM-CI_3 model.

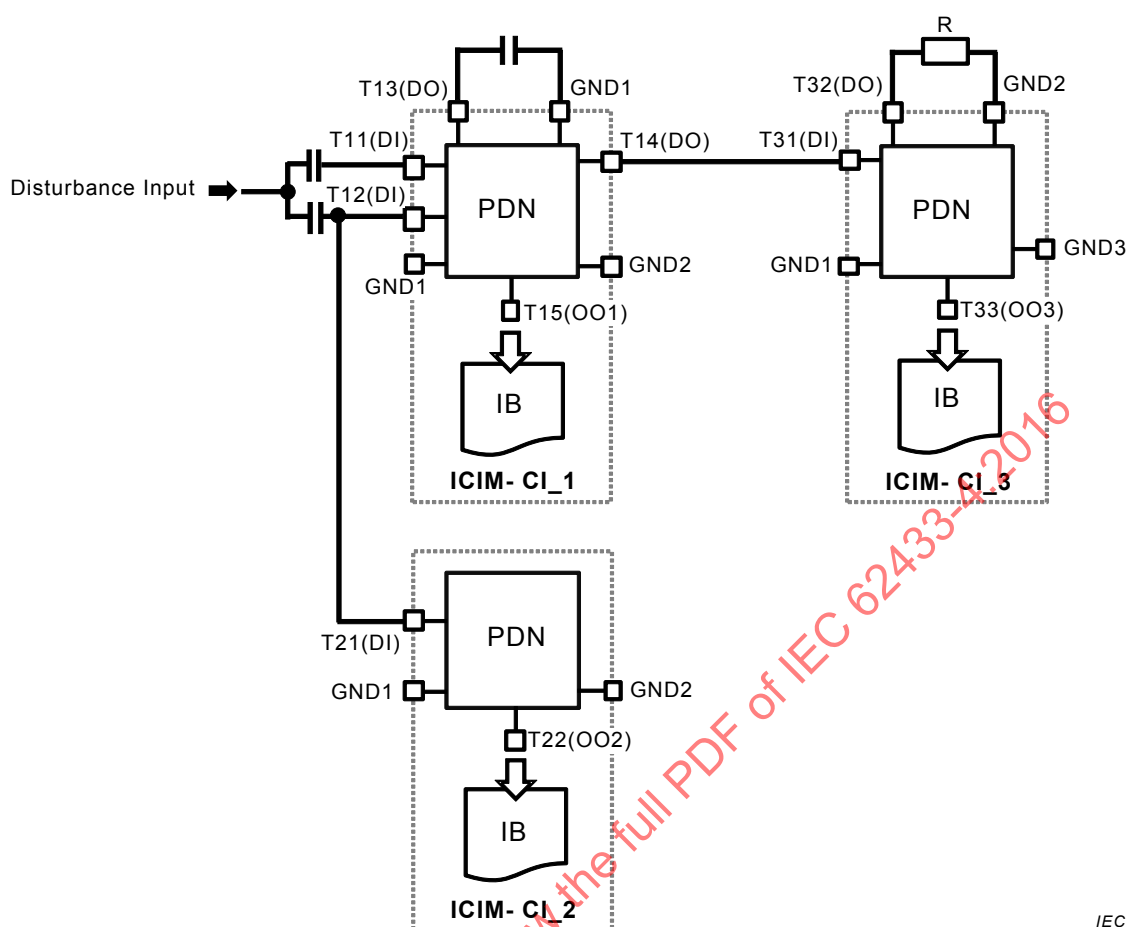


Figure 2 – Example of an ICIM-CI model of an electronic board

The valid frequency range of the ICIM-CI model is the same as that of the data (simulation or measurement) used for obtaining the PDN and IB parts.

5.2 PDN description

The PDN consists of passive elements for the package, bonding and on-chip interconnections. It represents the input network of the power and signal pins of the chip. PDN is a complete impedance network, containing both input injection terminals (DI), terminals which may have an influence on the impedance of the disturbed terminals (DO) and internal terminals. The PDN can contain linear and non-linear components such as resistance, capacitance and ESD diode protection. Nevertheless, the PDN data is defined for conditions under which the non-linear components are not activated.

PDN characterizes the coupling path for the RF disturbances, which can undergo filtering and distortion. Its impedance can vary considerably with frequency.

The PDN is defined in the frequency domain and can be characterized by different network parameters such as:

- $Z(f)$: Impedance, which is the ratio of voltage and current at the disturbance input of the PDN. It represents the electrical schematic of passive input impedance, often consisting of parasitic elements and expressed using resistor (R), inductor (L) and capacitor (C) elements.
- $Y(f)$: Admittance, which is the inverse of $Z(f)$.

- c) $S(f)$: S-parameter, which is the ratio of the reverse and forward voltage waves at the disturbance input of the PDN. This parameter is typically used to measure the characteristics of radio frequency (RF) signal ports.

The conversion between the three types of parameters is described in Annex C. The frequency validity range of the PDN is defined by the measurement conditions.

The PDN can also be described as a circuit using a SPICE-like netlist.

An IC can have many identically designed pins with the same (similar) characteristics. Therefore, to reduce the number of DI to be modelled (for simplification purposes) the pins of an IC can be classified into families such as:

- a) Supply pins,
- b) Digital input/output pins,
- c) Analogue input/output pins,
- d) Data/address buses,
- e) Communication buses.

For complex ICs, it may be essential to model the PDN as different blocks for better representation and easy understanding. These blocks may be internally coupled within the IC. For example, an IC can contain a digital and an analogue block with different ground terminals (which may be connected internally), and other terminals that are coupled within the IC. Such coupling phenomena can be modelled using an Inter-Block Coupling (IBC) network. A detailed description of an IBC network is presented in 5.3.

The PDN describes the linear behaviour of the device. The non-linear effects are not considered in the PDN of the ICIM-CI macro-model. Therefore, impedance measurements should be carried out in the typical operating conditions in a steady state mode. The proposed PDN of ICIM-CI model is limited to a level so that the protection devices are not triggered. The activation of internal protection devices would induce non-linearity in the model definition, which is not considered in the PDN. However, non-linear effects are inherently considered in the IB as described in 5.4.

The PDN could act as a filter for RF disturbances. PDN resonances may appear due to parasitic capacitive and inductive elements. Resonances can also be created by external components mounted on the DI and DO pins for IC operation. These can have a significant effect on the immunity of the devices. The PDN can stop, pass or amplify the disturbances and it can influence the immunity of the device.

The PDN is valid in the conditions in which it has been established. Such conditions include (but not limited to):

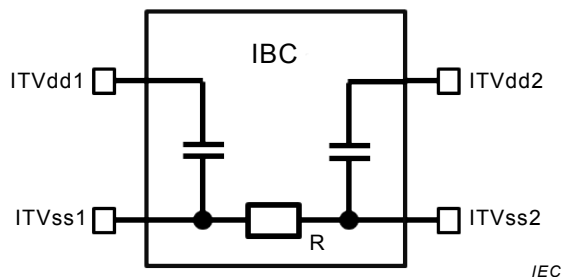
- a) Power supply voltage range
- b) Applicable frequency range
- c) Temperature range
- d) Applicable load conditions on DI and/or DO pins

The PDN impedance behaviour allows to determine the power transmitted into the active part of the devices which is represented by the IB model. It is considered that the transmitted power at the pin is linked to the failure within the device.

5.3 IBC description

An Inter-Block Coupling (IBC) is a network of passive elements that presents a coupling effect between different PDN blocks. The IBC is thus a part of the PDN sub-model. The IBC is equipped with two or more internal terminals and can interface to internal terminals of PDN blocks. Such blocks can be used for modelling the coupling phenomena between different IC

ground terminals, substrate losses, mutual inductances at die-level, insulation between internal ground and power terminals, etc. An example of an IBC network is shown in Figure 3.



NOTE ITVdd1, ITVss1, ITVdd2 and ITVss2 are internal nodes.

Figure 3 – Example of an IBC network

In this example (see Figure 3), both capacitors model the dielectric properties and the resistors model the resistive properties of the substrate. Other properties can be modelled using more complex IBC networks.

All specifications and conditions described for PDN in 5.2 are valid for IBC.

A block-based structure, using IBC components, is illustrated in Figure 4. The model consists of different PDN block components and IBC components constituting the PDN sub-model.

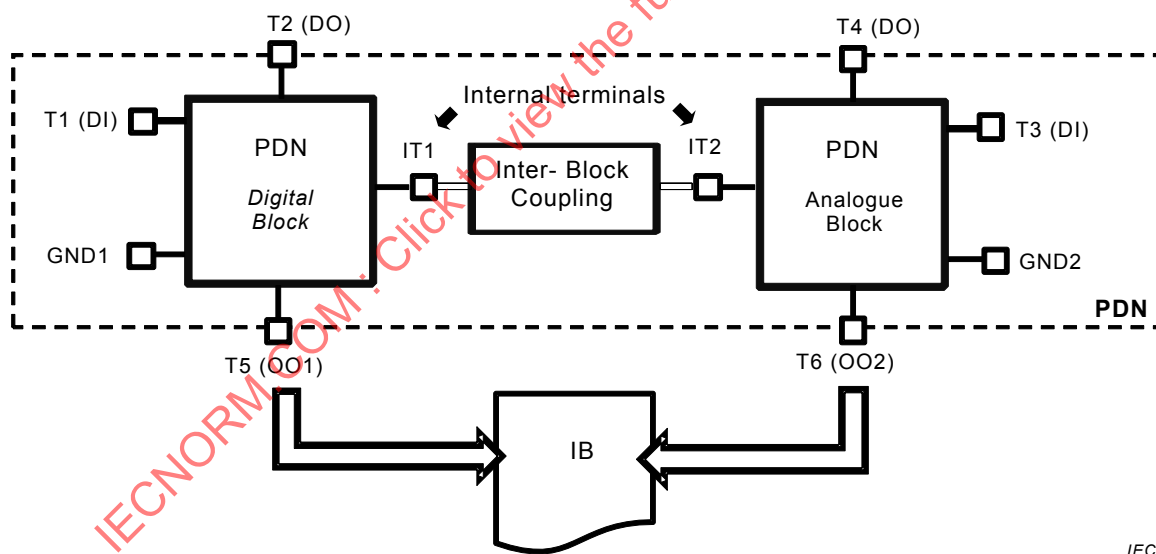


Figure 4 – ICIM-CI model representation with different blocks

5.4 IB description

The IB covers both in-band and out-band IC frequency response represented by a second sub-model. The information output, from the IB via one or more OO, describes the response of the IC to a disturbing signal applied to one or more DI. The IB should include parameters such as frequency, transmitted power, as well as the variations on one or more OO. The inherent non-linearity inducing the malfunction is considered in the IB. Depending on how the OO is tested, IB data can be obtained using pass/fail or non pass/fail test criteria.

As the name suggests, in pass/fail tests, the defect on the OO is directly tested against user-specified limits. Consequently, there is a dedicated IB sub-model per susceptibility criterion. In non pass/fail tests, the observed defects are not quantified as pass/fail (not tested against

user-set limits). It represents the behavioural aspect of the OO as a function of transmitted power without specified limits. Consequently, the concerned IB sub-model is more generic and shall contain sufficient data to cover most of the practical use cases. Immunity criteria may be applied to the OO by the IC model user at a later stage during model simulation or usage.

As stated in 5.2, the PDN and IBC influence the IB sub-model. Therefore, the IB of an ICIM-CI model is valid in the conditions in which it has been established. Typical conditions include (but not limited to):

- a) Power supply voltage range
- b) Applicable frequency range
- c) Temperature range
- d) Applicable load conditions (consequently bias conditions) on DI and/or DO pin(s)
- e) Immunity test criteria applied on the OO pin(s)

The frequency step-size and the range defining the IB data shall be the same as stated in IEC 62132-1. Critical frequencies such as clock frequencies and system frequencies of RF devices shall be tested using finer frequency steps, as agreed by the users of this procedure. IB sub-model's frequency range of validity is thus the same as that of the data (simulation or measurement) used for obtaining the IB.

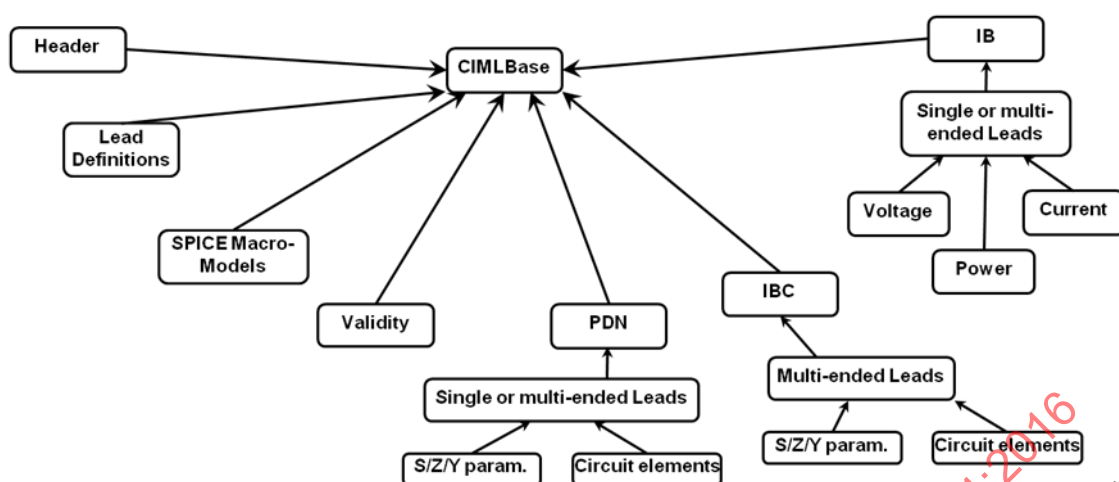
6 CIML format

6.1 General

Data of the ICIM-CI model are arranged in XML format, henceforth called Conducted Immunity Markup Language (CIML). The model data are separated into seven parts:

- a) Header containing general information
- b) Description of IC's Lead definitions
- c) Description of SPICE macro-models for use within the PDN data
- d) Description of the model validity conditions
- e) Description of the PDN data
- f) Description of the IBC data
- g) Description of the IB data

The inheritance hierarchy is depicted in Figure 5.



IEC

Figure 5 – CIML inheritance hierarchy

The top level of a CIML model definition simply consists of these components:

```

beginning of model definition
  model header definition
  DUT lead definitions
SPICE macro-models
model validity conditions
  model PDN
model IBC
  model IB
end of model definition

```

This exchange format uses eXtensible Markup Language (XML) 1.0 (Fourth Edition) to structure the information [1]. XML is derived from the Standard Generalized Markup Language (SGML) (ISO 8879:1986).

The XML encoding rules discussed in Annex A ensure that the XML (CIML) file can be correctly parsed by a Conducted Immunity Model (CIM) parser. An example of a CIML file conforming XML encoding format is given in Annex D.

6.2 CIML structure

The typical ICIM-CI model shall be represented in CIML format as shown below:

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<CImodel>
  <!-- HEADER -->
  <Header>
    ...
  </Header>
  <!-- DUT LEAD DEFINITIONS-->
  <Lead_definitions>
    ...
  </Lead_definitions>
  <!-- SPICE MACRO-MODEL DEFINITIONS -->
  <Macromodels>
    ...
  </Macromodels>
  <!-- MODEL VALIDITY CONDITIONS -->
  <Validity>
    ...

```

```

    </Validity>
    <!-- MODEL PDN DATA -->
    <Pdn>
...
    </Pdn>
    <!-- MODEL IBC DATA -->
    <Ibc>
...
    </Ibc>
    <!-- MODEL IB DATA -->
    <Ib>
...
    </Ib>
</CImodel>

```

CIML format is based on XML representation. The basic XML encoding rules in Annex A are applicable for CIML structure. The CIML keywords and their usage rules are detailed in Annex E.

The *Header*, *Lead_definitions*, *Validity*, *Pdn* and *Ib* sections are minimum and mandatory information of the ICIM-CI model. The *Macromodel* and *Ibc* sections are optional.

6.3 Global keywords

Documentation, *Notes*, *Unit* sections are global keywords and can be placed anywhere in the file except within an element containing a value. See E.4 for more information on their usage.

6.4 Header section

Readers may wonder about the motivations for an independent Header section. A simpler approach to creating the header information would be to place them all directly at the top level under <CImodel> ... </CImodel>. It is instead chosen to group them within the XML element <Header>, because this could help organize the components and makes visual reading of model definitions easier. It is thus proposed to define header information within the *Header* tag. The minimum details are the model version number, filename and the file version number. Other header contents are freely dimensioned, giving information such as:

- DUT reference
- Authors' name
- Date
- Measurement method
- Copyright
- Disclaimer
- Documentation

An example Header section is shown below:

```

<Header>
  <Cim_ver>1.0</Cim_ver>
  <Filename>ExampleICIMCI_file.ciml</Filename>
  <File_ver>1.0</File_ver>
  <Author_name>Valeo 1</Author_name>
  <Dut>LINTRCV</Dut>
  <Date>October 1, 2012</Date>
  <Meas_method>DPI</Meas_method>
</Header>

```

A detailed list of valid keywords under the *Header* section is available in E.2.

6.5 Lead definitions

This section describes the various leads (or pins) of the IC under test. Each lead in the *Lead_definitions* section is made using the *Lead* tag, whose definition is shown in Table 1. Several *Lead* structures are listed one after another to form the *Lead_definitions* structure.

Table 1 – Attributes of *Lead* keyword in the *Lead_definitions* section

<i>Lead</i>
Id: pin identity as a valid string (required)
Name: Name of the pin as designated in the datasheet (optional). Default = "None"
Mode: Mode in which the pin is used for ICIM-CI ("DI", "DO", "OO", "GND"). See 5.1. Default="None"
Type: type of the lead ("internal" or "external") (optional). Default = "external"

Every *Lead* structure in the *Lead_definitions* section has one required field, *Id*, representing the identity of the lead. The lead may be additionally defined with its *Name*, *Mode* and *Type*. If the *Name* field is undefined or absent, it defaults to "None". The *Mode* field is considered as "None" under the following conditions:

- If *Mode* for a particular pin is absent
- If explicitly set as "None" since the respective pin is not DI, DO, OO or GND.

The *Type* field is optional and is always considered as "external" for DI, DO, OO and GND mode pins. The lead type can also be "internal" for interfacing different blocks of the ICIM-CI PDN (see Figure 4) and such pins shall be defined with Mode="None". These leads are dedicated for interfacing the inter-block coupling network (see 5.3 for more information on IBC description).

If a pin is used in more than one mode, then the different modes are represented as a single field separated by a comma (",") character. No other characters are allowed as delimiters. An example is shown below:

```
<Lead Id="1" Name="T1" Mode="DI,OO"/>
```

The above line tells the CIM parser that lead with Id="1" with name "T1" is used as both DI and OO. By default, the lead is an external terminal (Type="external").

Table 2 lists the compatibility between the *Mode* and *Type* fields of the *Lead* structure for correct CIML annotation by the CIM parser.

Table 2 – Compatibility between the *Mode* and *Type* fields for correct CIML annotation

Mode	Type	
	external	internal
DI	Yes	No
DO	Yes	No
OO	Yes	No
GND	Yes	No
None	Yes	Yes

The different terminals described in 5.1 (see Figure 1) are represented in a compact format as shown below:

```
<Lead_definitions>
  <Lead Id="1" Name="T1" Mode="DI"/>
  <Lead Id="2" Name="T2" Mode="DI"/>
  <Lead Id="3" Name="T3" Mode="DO"/>
  <Lead Id="4" Name="T4" Mode="DO"/>
  <Lead Id="5" Name="T5" Mode="DO"/>
  <Lead Id="6" Name="T6" Mode="DO"/>
  <Lead Id="7" Name="GND1" Mode="GND"/>
  <Lead Id="8" Name="GND3" Mode="GND"/>
  <Lead Id="9" Name="T7" Mode="OO"/>
  <Lead Id="10" Name="T8" Mode="OO"/>
  <Lead Id="11" Name="GND2" Mode="GND"/>
</Lead_definitions>
```

The above lines of code represent the ICIM-CI model structure presented in Figure 1. The identities of the pins ("Id") are arbitrarily chosen. Note that these pin definitions are used for example purposes throughout this part of IEC 62433, unless otherwise specified.

6.6 SPICE macro-models

This section describes the various SPICE macro-models in netlist format. These sub-circuits are referenced within the *Pdn* tag under the *Netlist* section as explained in 6.8.3.4 and 6.8.3.5. Each SPICE macro-model in the *Macromodels* section is defined using the *Subckt* tag, whose definition is shown in Table 3. The presence of this section in a CIML file is optional.

Table 3 – *Subckt* definition

<i>Subckt</i>
Name: Name of the SPICE macro-model (required)
Nodes: External Nodes connecting to the main circuit (required)
Kind: SPICE netlist format (optional) default: "SPICE3"
Data_files: SPICE macro-model defined in an external file (optional)

The *Subckt* keyword has two required fields: *Name* and *Nodes*. The *Name* field consists of letters and numbers defined in A.2.5.4. The *Nodes* field defines the external nodes that connect outside the sub-circuit, i.e. the nodes through which the sub-circuit element connects to the main circuit. The different external nodes are defined in sequence separated by a comma (",") and these nodes are strictly local to the SPICE macro-model definition. These nodes can be identified with either numbers or letters.

The optional attribute *Kind* tells the CIM parser that the defined sub-circuit (SPICE macro-model) follows a specific syntax. CIML version 1 supports industry-standard SPICE like netlist syntaxes:

The *Kind* field defaults to generic "SPICE3" if absent. An example *Subckt* element is shown below:

```
<Subckt Name="PDN_pin1" Nodes="Node1,Node2,Node3" Kind="SPICE3">
  C1 Node1 int1 20e-9
  L1 int1 int2 9e-9
  R1 int2 Node2 230e-3
  R2 Node2 Node3 100e-3
</Subckt>
```

For compatibility reasons between several SPICE kinds, "0" is not allowed as an external node. The different sub-circuit elements are listed one after another to form the *Macromodels* section. The following example illustrates the typical representation of the *Macromodels* section:

```
<Macromodels>
<Subckt Name="PDN_pin1" Nodes="Node1,Node2,Node3">
...
</Subckt>
<Subckt Name="PDN_pin2" Nodes="Node1,Node2,Node3">
...
</Subckt>
...
</Macromodels>
```

Once defined, the various sub-circuits are usable anywhere within the *Pdn* and *Ibc* tags using an identifier starting with the character "X". The call shall be made under the *Netlist* section and is referenced using the *Name* field (see 6.8.3.4 and 6.8.3.5). The number of nodes on the call line shall match the number listed in the *Nodes* attribute line of the specific sub-circuit. For example, the above defined "PDN_pin1" can be called:

```
<Pdn>
...
  <Lead Id="1 2 7" Type="Ckt">
...
    <Netlist>
Xpin1 1 2 7 PDN_pin1
    </Netlist>
  </Lead>
...
</Pdn>
```

If one or more sub-circuit models is defined in an external library file, then the file(s) is (are) referenced using the *Data_files* tag. For example:

```
<Macromodels>
<Subckt Kind="SPICE3">
<Data_files>
subckt_pin1.lib
subckt_pin2.lib
...
</Data_files>
</Subckt>
</Macromodels>
```

A typical sub-circuit definition is shown in Figure 6.

```
*Netlist file created on Fri 27 Nov 2012
*Time: 12:01:27
*PDN macro-model model of PIN1 with respect to GND1
.Subckt Pin1_PDN N1 N2
C1 N1 int1 20e-9
L1 int1 int2 9e-9
R1 int2 N2 230e-3
.ends
```

IEC

Figure 6 – Example of a netlist file defining a sub-circuit

To avoid ambiguity, the CIM parses only the data statements defined within the SPICE keywords: ".SUBCKT" and ".ENDS". These keywords are not case sensitive. If multiple ".SUBCKT" sections are found, then they are parsed as independent sub-circuit elements.

Since these definitions share the same namespace within the CIML format, every sub-circuit shall carry a unique name and shall conform to XML rules discussed in A.2.5.4.

6.7 Validity section

6.7.1 General

The *Validity* section is used to represent the conditions in which the ICIM-CI model is defined. This section is strictly informative to the user and independent of all other sections in the CIML file.

Table 4 lists the various recognized keywords in the *Validity* section.

Table 4 – Definition of the *Validity* section

<i>Validity</i>
Power_supply : Power supply range as a string (required)
Frequency_range : Frequency range as a string with units (required)
Temperature_range : Temperature range in which the model is extracted (required). To be specified with units.

This definition is not exhaustive and is open for progress and improvement.

Documentation pertaining to the IC such as datasheets, test reports, and ICIM-CI extraction report shall be specified with the global keyword *Documentation* in the form of a valid string that specifies the path to the corresponding documentation. Many file paths can be listed one below another. It defaults to "None" when absent. See E.4 for more information on the usage of the *Documentation* keyword.

Any other specific details pertaining to the complete ICIM-CI model definition shall be defined with the *Notes* section in the form of a valid string. It defaults to "None" when absent. See E.4 for more information on the usage of the *Notes* keyword.

This section is mandatory and is defined directly under the *CImodel* root element. For example:

```
<CImodel>
  ..
  <Validity>
    <Power_supply>12V</Power_supply>
    <Frequency_range>[1MHz - 1GHz]</Frequency_range>
    <Temperature_range>25Celsius</Temperature_range>
    <Notes>Only LIN network activated</Notes>
  </Validity>
  ...
</CImodel>
```

6.7.2 Attribute definitions

6.7.2.1 Power_supply

The *Power_supply* attribute is used define the supply conditions for which ICIM-CI is valid. This attribute informs the user that the ICIM-CI model is extracted in the specified supply range.

There is no particular format for defining the value for this attribute; it shall be easily comprehensible for proper model usage. The value of this attribute is a data string containing valid text string and/or numerical values with units. See A.2.5.5 for valid units.

This is a required field.

A few examples of the *Power_supply* field are shown in Examples 1 to 3.

EXAMPLE 1 The following syntax specifies that the model is defined for a supply voltage of 5 V.

```
<Power_supply>5V</Power_supply>
```

EXAMPLE 2 The following syntax specifies that the digital blocks of the model data are defined with a supply voltage of 5 V and the analogue blocks are defined for a supply voltage of 12 V.

```
<Power_supply>5V for digital blocks, 12V for analogue blocks</Power_supply>
```

EXAMPLE 3 The following syntaxes specify that the model is defined for supply voltages between 2,5 V and 18 V.

```
<Power_supply>[2.5V-18V]</Power_supply>
```

or

```
<Power_supply>between 2.5V and 18V</Power_supply>
```

6.7.2.2 Frequency_range

The *Frequency_range* attribute is used define the frequency range in which ICIM-CI is valid. This attribute informs the user that the ICIM-CI model is extracted in the specified frequency range and is usable in the same range. The frequency range of validity of the ICIM-CI model shall be the common frequency range of the PDN and IB.

There is no particular format for defining the value for this attribute; it shall be easily comprehensible for proper model usage. The value of this attribute is a data string containing valid text string and/or numerical values with units (see Example 1). See A.2.5.5 for valid units.

This is a required field.

EXAMPLE 1 The following syntaxes specify that the model is valid in the frequency range from 1 MHz to 1 GHz.

```
<Frequency_range>[1MHz-1GHz]</Frequency_range>
```

or

```
<Frequency_range>from 1MHz to 1GHz</Frequency_range>
```

6.7.2.3 Temperature_range

The *Temperature_range* attribute is used define the temperature range in which ICIM-CI is extracted. The temperature range of validity of the ICIM-CI model shall be the common temperature range of the PDN and IB.

There is no particular format for defining the value for this attribute; it shall be easily comprehensible for proper model usage. The value of this attribute is a data string containing valid text string and/or numerical values with units. See A.2.5.5 for valid units.

This is a required field.

Two examples are shown in Example 1 and Example 2.

EXAMPLE 1 The following syntaxes specify that the model is valid in the temperature range between 20 °C and 40 °C.

```
<Temperature_range>[20Celsius-40Celsius]</Temperature_range>
```

or

```
<Temperature_range>from 20Celsius to 40Celsius</Temperature_range>
```

EXAMPLE 2 The following syntax specifies that model is defined only at 298,15 K.

```
<Temperature_range>298.15K</Temperature_range>
```

6.8 PDN

6.8.1 General

The *Pdn* section of the ICIM-CI model contains the PDN data that describes the model. The data shall be defined within the *Pdn* keyword as follows:

```
<Pdn>
    PDN data
</Pdn>
```

Different PDN complexity levels can be considered. The simplest configuration level is the single-ended disturbance input. The differential disturbance input may also be envisaged.

The most complex is the multi-port configuration.

A PDN data is defined for a particular IC pin and thus the definition shall be done within a *Lead* tag. See Figure 5 for the structural hierarchy. Many *Lead* elements can be listed one below another within the *Pdn* section. Table 5 lists the various recognized fields of the *Lead* keyword:

Table 5 – Definition of the *Lead* keyword for *Pdn* section

<i>Lead</i>
Id : pin identity as a valid string (required)
Ground_id : return pin identity as a valid string (required if Type=("S", "Z", "Y", else optional)
Blockname : PDN block name as a valid string
Type : PDN source parameter ("S", "Z", "Y", "Ckt")
Param_order : Order in which PDN parameters are defined
Format : Data format ("RI", "MA", "DB")
Meas_type : Method implemented for performing PDN measurements
Reference_impedance : Reference impedance used in performing PDN measurements
Use : Parameter that is to be specifically used
Netlist : PDN definition using standard netlist format
Unit_freq : Unit definition of the frequency terms
Unit_param : Unit of the PDN parameters
Power_level : Measurement power level during PDN extraction
Data_files : PDN source parameter defined in an external file (required if not List)
List : PDN parameter list (required if not Data_files)

The frequency range of the PDN information shall be specified in the *Validity* section under the *Frequency_range* tag.

NOTE The frequency range of validity of the ICIM-CI model is the common frequency range of the PDN and IB.

Any other relevant information required for correct understanding (and usage) of the PDN shall be optionally defined within the *Notes* and *Documentation* tags. Details such as IC operating mode, decoupling capacitors on supply lines, activated functions, grounding details, datasheets and test reports can be defined.

6.8.2 Attribute definitions

6.8.2.1 Id

The *Lead* Ids used in the PDN definition should have been previously defined in the *Lead_definitions* tag as described in 6.5. Depending on the type of the PDN (single-ended, differential or multi-ended), one or more Ids can be defined together. Both external and internal terminals can be specified. See 6.8.4 and 6.8.5 for more information.

This is a required field.

6.8.2.2 Ground_id

The *Lead* *Ground_ids* used in the PDN definition should have been previously defined in the *Lead_definitions* tag in GND mode (see 6.5). This lead represents the return signal path for defining the PDN.

This attribute is defined only if network parameters are used for defining the PDN (Type="S" or "Z" or "Y"). *Ground_id* attribute is ignored by the CIM parser if Type="Ckt", that is, if a netlist is used for representing the PDN. See 6.8.2.4 for more information on the *Type* attribute.

When used, only one unique *Ground_id* is permitted per *Lead* definition. This is an optional field and is required if PDN is represented using network parameters.

6.8.2.3 Blockname

The *Blockname* field is used to define the name of the PDN block. This field is optional and is used for representing the PDN as a sub-block. A block-based ICIM-CI macro-model is shown in Figure 4. This field is intended for informational purposes only. The CIM parser does not interpret this field.

6.8.2.4 Type

The *Type* attribute is used to represent the type of the PDN data. Valid types are:

- "S": S-parameter data.
- "Z": Z-parameter data. These parameters are not normalized to the reference impedance.
- "Y": Y-parameter data. These parameters are not normalized to the reference impedance.
- "Ckt": Circuit description using netlists.

This field is optional. When absent, the default value is "S".

6.8.2.5 Param_order

The *Param_order* attribute tells the CIM parser how the data is represented. It is not defined if the PDN is represented as a circuit model as discussed in 6.8.3.4 and 6.8.3.5. The following strings are dedicated for specifying the parameter order:

- "Freq" and "Frequency": Frequency used for parameters' definition
- "Sij": S-parameters, i and j are integers representing measurement ports/pins (example: "S11", "S21", "S31", etc...)

- "Zij": Z-parameters, i and j are integers representing measurement ports/pins (example: "Z11", "Z21", "Z31", etc...)
- "Yij": Y-parameters, i and j are integers representing measurement ports/pins (example: "Y11", "Y21", "Y31", etc...)

The different terms of *Param_order* shall be separated by a comma character (",").

This field is optional. If absent, the default value is "Freq,S11".

6.8.2.6 Format

The Format attribute decides the data format. It is not defined if the PDN is represented as a circuit model as discussed in 6.8.3.4 and 6.8.3.5. Valid data formats are:

- "RI": real/imaginary format
- "DB": Magnitude in decibel scale with phase angle in degrees
- "MA": Magnitude in linear scale with phase angle in degrees

This field is optional. If absent, the default value is "RI".

6.8.2.7 Meas_type

The *Meas_type* attribute is used by the CIM parser in order to compute the impedance of the specific lead ("Id") when S-parameters are used. Depending on the type of the PDN (single-ended, differential or multi-ended), the *Meas_type* attribute takes multiple definitions. See 6.8.4 and 6.8.5.

This field is defined only when Type="S" and is optional. When absent, it defaults to "0".

6.8.2.8 Reference_impedance

The *Reference_impedance* attribute is used by the CIM parser in order to compute the impedance of the specific lead ("Id") when network parameters are used for PDN definition.

This field is defined only when Type="S" and is optional. When defined, it shall always be specified with a numerical value along with units as described in A.2.5.3 (example: "50ohm"). When absent, it defaults to "50ohm".

6.8.2.9 Use

The *Use* attribute tells the CIM parser to use one of the values in the *Param_order* attribute. When explicitly defined, the corresponding parameter is used as PDN. If undefined, the first Sij or Zij or Yij term is used by default.

6.8.2.10 Netlist

The *Netlist* keyword is used to define the PDN as a SPICE netlist that represents the electrical connectivity of the PDN elements. The electrical connectivity flow shall be as per SPICE specification [2]. A detailed description of the circuit model is presented in 6.8.3.4 and 6.8.3.5.

This field is required if Type="Ckt".

6.8.2.11 Unit_freq and Unit_param

The parameter units are defined under the *Unit_freq* and *Unit_param* tags for frequency and data, respectively. If absent, *Unit_freq* defaults to basic units, "Hz". Table 6 shows the default value of the *Unit_param* attribute as a function of data type and format when undefined.

Table 6 – Valid data formats and their default units in the *Pdn* section

Data type	Data format	Default Unit_param values
S	RI	1
	MA	1
	DB	dB
Z	RI	ohm
	MA	ohm
	DB	dBohm
Y	RI	S
	MA	S
	DB	dBs

See A.2.5.5 for valid units.

These fields are optional.

6.8.2.12 Power_level

The measurement power level used for PDN extraction (see 7.3.2) is specified in the *Power_level* field. For simplicity reasons, the power level along with units should be defined together as discussed in A.2.5.3.

This is an optional field. If absent, it defaults to "0dBm".

6.8.2.13 Data_files and List

The *Data_files* tag is used to differentiate between inline and external data. If the PDN data is defined in an external file, the link to the file shall be specified within the *Data_files* tag. Inline data is directly defined under the top level *Lead* tag within a *List* tag if needed. Files with the extensions given in Table 7 are allowed.

Table 7 – Valid file extensions in the *Pdn* section

File extension	Common name
dat or DAT	Data file
csv or CSV	Comma separated values
txt or TXT	Text file
snp or SnP	Touchstone, n is an integer (1, 2, ...)
cir or CIR	Circuit file (Netlist)
lib or LIB	Library file (Netlist)
net or NET	Netlist file

The *List* tag is not defined if circuit model is used to describe the PDN. *Data_files* tag is defined for network parameters (*S* or *Z* or *Y*) and netlist description.

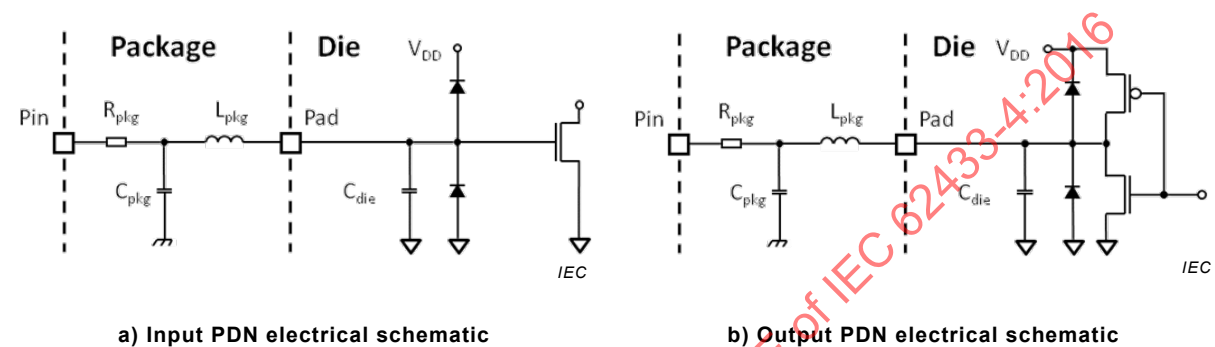
This is a required field; a unique *List* or *Data_files* element shall be used to define the PDN data of the specific lead.

6.8.3 PDN for a single-ended input or output

6.8.3.1 General

A single-ended input or output corresponds to a single pin on the IC. In that case, the signal is carried by one PCB track. The return signal track is the electrical ground of the IC. It is possible that various parts of the PDN have different grounds. These grounds will be connected together either inside the device or by external connections, which will not necessarily be perfect. Care should be taken when extracting the PDN to take into account these connections.

Figure 7 gives typical electrical schematics of single-ended input/output pins.



Key

R_{pkg}	Parasitic resistance of package
L_{pkg}	Parasitic inductance of package
C_{pkg}	Parasitic capacitance of package
C_{die}	Parasitic capacitance of die
Pin	IC pin interface at the package level
Pad	IC pin interface at the die level
V_{DD}	IC supply voltage

Figure 7 – PDN electrical schematics

Depending on the simulation tool used, the PDN could be represented with different network parameters such as S -, Z -, Y -parameters, or as a circuit/netlist using physical R , L and C elements.

Figure 8 shows the impedance of the PDN represented by a one-port black-box.

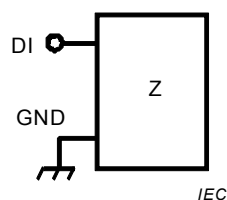


Figure 8 – PDN represented as a one-port black-box

Table 8 lists the valid fields of a *Lead* structure for a single-ended PDN definition and their usage.

Table 8 – Valid fields of the *Lead* keyword for single-ended PDN

Field	Description	Usage	Rules
Id	Identifier or pin number	Required	One unique Id previously defined in the Lead-definitions section
Ground_id	Identifier or pin number of the return signal pin	Required for Type="S" or "Z" or "Y"	One unique Id previously defined as GND in the Lead-definitions section
Blockname	Name of the PDN block component	Optional	Valid string (see 6.8.1)
Type	PDN source parameter (S/Z/Y/Circuit)	Optional	Valid String: "S" (default) or "Z" or "Y" or "Ckt"
Param_order	Order in which parameters are defined	Optional	Valid string (see 6.8.1)
Format	Data format	Optional	"RI" (default) or "DB" or "MA"
Meas_type	Method implemented for performing PDN measurements	Optional	"0" (default) or "1" or "2"
Reference_impedance	Reference impedance used in PDN measurements	Optional	Valid numerical value with units. Default="50ohm"
Use	Parameter that is to be specifically used	Optional	One of the values in Param_order other than the Frequency term. Default: First S or Z or Y term
Netlist	SPICE type netlist	Required if Type="Ckt"	Valid SPICE like data statements. See 6.8.3.4 and 6.8.3.5
Unit_freq	Frequency units	Optional	Valid units (see A.2.5.5). Default="Hz"
Unit_param	Parameter units	Optional	Valid units (see A.2.5.5). See 6.8.2.11 for default values
Power_level	Measurement power level	Optional	Valid numerical value with units (See A.2.5.5). Default="0dBm"
Data_files	PDN source parameter defined in an external file	Required if not List	Valid for external netlist file or external network parameter file.
List	PDN data entries in the form of a list defined inline	Required if not Data_files	Valid numerical values with or without units in the specified order

The compositions of *Id*, *Ground_id*, *Type*, *Param_order* and *Format* fields have been previously discussed in 6.8.2. The CIM parser understands that the PDN definition for a particular pin is single-ended when the *Id* attribute contains a unique value (example Id="1").

Meas_Type field is recognized only when the PDN is defined using S-parameters (Type= "S"). For all other types, this field is ignored. CIML version 1 supports the following *Meas_type* values for single-ended PDN with S-parameters:

- "0" for standard or conventional measurement configuration (default)
- "1" when the DUT is in parallel to the measurement ports (shunt connection)

- "2" when the DUT is in series to the measurement ports (series connection)

The reference impedance used in PDN measurements is defined using the *Reference_impedance* tag. This field is recognized only when the PDN is defined using S-parameters (Type= "S").

The different measurement configurations and set-up for single-ended PDN extraction as defined in CISPR 17 are presented in 7.3. When absent, *Meas_type* defaults to "0" (conventional method).

Data can either be defined inline within the CIML file or can be defined using external data files for both network parameter and circuit (netlist) definition.

6.8.3.2 Inline data – network parameter

If the network parameters (*S*, *Z* or *Y*) are defined for a single frequency, then they can be defined within the *Lead* keyword directly. If the PDN is defined for multiple frequencies (more than one frequency), data shall be written within the *List* keyword. The different DI or DO leads, whose PDN is to be defined, shall be defined using the *Id* attribute and the ground lead (lead with Mode="GND" in *Lead_definitions* section) used as return signal path shall be specified using the *Ground_id* attribute.

The frequency units shall be defined within the *Unit_freq* keyword and data units shall be specified using *Unit_param* keyword. The power level used for measurement shall be defined using *Power_level* tag and the reference impedance using the *Reference_impedance* tag. See 6.8.2 for more information on these attributes and their default values.

The following example illustrates the single-ended PDN of lead "1" defined by S-parameters measured using conventional VNA one-Port method with lead "7" used as ground (return signal pin). By default Use="S11". The PDN is modelled as a block with the *Blockname* field defined as "Block_Pdn1".

```
<Pdn>
  <!-- S Parameters inline data, multi-frequencies -->
  <Validity>9kHz-3GHz</Validity>
  <Lead Id="1";Ground_id="7";Type="S"; Param_order="Freq,S11";
Format="RI";Meas_type= "0">
    <Blockname>Block_Pdn1</Blockname>
    <Unit_freq>Hz</Unit_freq>
    <Power_level>0dBm</Power_level>
    <Reference_impedance>50ohm</Reference_impedance>
    <List>
      9.000000e+003  9.417885e-001  -3.504903e-001
      9.123751e+003  9.379390e-001  -3.540765e-001
      9.249203e+003  9.370850e-001  -3.587080e-001
      9.376381e+003  9.358488e-001  -3.618073e-001
      9.505307e+003  9.335523e-001  -3.676978e-001
      9.636006e+003  9.318579e-001  -3.723437e-001
      9.768502e+003  9.309074e-001  -3.770503e-001
      9.902820e+003  9.291059e-001  -3.815358e-001
      1.003898e+004  9.248903e-001  -3.872907e-001
      ....
    </List>
  </Lead>
</Pdn>
```

6.8.3.3 External file data – network parameter

For directing the CIM parser to use the necessary external data file in ASCII format, definition shall be made using *Data_files* keyword. If the external file has a touchstone extension (*.snp or *.SnP where n is an integer 1, 2, ...), *Unit_param*, *Unit_freq*, *Param_order*, *Reference_impedance* and *Type* definitions are not required (ignored by the CIM parser if explicitly defined). For all other file extensions (*.dat, *.csv, *.txt) the defined values are used. If absent, default values are automatically considered. See Table 8 for default properties. Similar to inline definition seen in 6.8.3.2, the *Ground_id* field is required and the *Meas_type* field is optional.

Measurement power level shall be a part of the external file as a comment or shall be defined using the *Power_level* tag. Comment lines in the PDN file shall start with an exclamation symbol ("!") as shown below:

```
!This is a comment line
```

Figure 9 shows an example of the file in Touchstone format with S_{11} parameters in dB format for a single-ended input versus frequency. Note that the measurement power level is included as a comment in the PDN file.

```
!Date: Wed Feb 24 17:02:04 2010
!Data & Calibration Information:
!Freq S11:SOLT2 (ON)
!Power level : -10dBm
# Hz S dB R 50
10000000 -3.729084e+001 7.606495e+001
14990000 -3.380164e+001 7.729963e+001
19980000 -3.153998e+001 7.662747e+001
24970000 -2.994036e+001 7.626312e+001
29960000 -2.839336e+001 7.553269e+001
34950000 -2.717934e+001 7.494058e+001
```

IEC

Figure 9 – PDN represented as S-parameters in Touchstone format

These data can be obtained by a one-port vector network analyzer as explained in 7.3.2. Details are provided in Annex F.

The following is an example to use this file for defining the PDN of lead "1" with respect to lead "7" (used as return signal pin). By default Use="S11" even if unspecified.

```
<Pdn>
  <Lead Id="1" Ground_id="7" Meas_type="0">
    <Data_files>
      Pin1_PDN_S11.s1p
    </Data_files>
  </Lead>
</Pdn>
```

Figure 10 shows an example of the file in Touchstone format with two-port *S*-parameters in real/imaginary format for a single-ended input versus frequency measured using two-port parallel method.

!Date: wed Feb 24 18:10:35 2010									
!Data & Calibration Information:									
!Freq	S11:SOLT2(ON)	S21:SOLT2(ON)	S12:SOLT2(ON)	S22:SOLT2(ON)					
!Power Level: 10dBm									
# Hz S RI R 50									
100000	-1.036458e-001	-2.813728e-001	8.962133e-001	-2.812879e-001	8.968058e-001	-2.810997e-001	-1.035877e-001	-2.808048e-001	
100679	-1.047647e-001	-2.827956e-001	8.950628e-001	-2.827016e-001	8.956069e-001	-2.825874e-001	-1.047446e-001	-2.822436e-001	
101359	-1.059933e-001	-2.843089e-001	8.938606e-001	-2.841587e-001	8.944253e-001	-2.840167e-001	-1.059335e-001	-2.836677e-001	
102038	-1.070761e-001	-2.857621e-001	8.927390e-001	-2.856093e-001	8.932514e-001	-2.854702e-001	-1.071706e-001	-2.850955e-001	
102717	-1.082844e-001	-2.871706e-001	8.915527e-001	-2.870721e-001	8.921174e-001	-2.869190e-001	-1.082758e-001	-2.865788e-001	
103396	-1.094305e-001	-2.886304e-001	8.904199e-001	-2.885258e-001	8.910204e-001	-2.883397e-001	-1.094611e-001	-2.879343e-001	
104076	-1.105872e-001	-2.900029e-001	8.892567e-001	-2.898991e-001	8.898156e-001	-2.898370e-001	-1.105748e-001	-2.895200e-001	
104755	-1.117609e-001	-2.914495e-001	8.880716e-001	-2.913276e-001	8.886742e-001	-2.911542e-001	-1.117679e-001	-2.907723e-001	
105434	-1.129686e-001	-2.928305e-001	8.869238e-001	-2.927147e-001	8.875063e-001	-2.926166e-001	-1.129574e-001	-2.922262e-001	
106113	-1.141046e-001	-2.943295e-001	8.857913e-001	-2.941380e-001	8.863739e-001	-2.940393e-001	-1.140602e-001	-2.936681e-001	
106793	-1.153434e-001	-2.957321e-001	8.846137e-001	-2.955797e-001	8.851491e-001	-2.954778e-001	-1.152589e-001	-2.950926e-001	
107472	-1.164054e-001	-2.971754e-001	8.834974e-001	-2.970460e-001	8.840123e-001	-2.968765e-001	-1.164158e-001	-2.965406e-001	
108151	-1.176255e-001	-2.985017e-001	8.822543e-001	-2.983617e-001	8.828818e-001	-2.982495e-001	-1.175782e-001	-2.978422e-001	
108830	-1.188660e-001	-2.998882e-001	8.810909e-001	-2.997076e-001	8.816448e-001	-2.996442e-001	-1.188061e-001	-2.992442e-001	
109510	-1.200334e-001	-3.012986e-001	8.799533e-001	-3.011631e-001	8.805157e-001	-3.009885e-001	-1.199358e-001	-3.006307e-001	
110189	-1.211291e-001	-3.026314e-001	8.787928e-001	-3.025275e-001	8.793571e-001	-3.023668e-001	-1.211662e-001	-3.019719e-001	

IEC

Figure 10 – PDN represented as two-port S-parameters in Touchstone format

This data can be obtained by a two-port vector network analyzer as explained in Annex F.

The following is an example to use S_{21} parameter from this file for defining the single-ended PDN of lead "2" with lead "8" used as return signal pin.

```
<Pdn>
  <Lead Id="2" Ground_id="8" Meas_type="1" Use="S21">
    <Data_files>
      Pin2_Parallel_PDN.s2p
    </Data_files>
  </Lead>
</Pdn>
```

6.8.3.4 Inline circuit definition

Another way to define the PDN is in the form of a SPICE like netlist [2]. CIM parser understands that the PDN has a circuit definition when the *Type* attribute of a particular lead is set to "Ckt". The circuit definition shall be directly declared within the *Netlist* tag under the *Lead* section. The *Netlist* section shall contain the following definitions:

- *Power_level* definition
- Data statements defining the electrical connectivity of components

All SPICE recognized elements can be defined in this section and the representation shall follow SPICE syntax. The data statements have a free format and consist of fields separated by a blank. If one wants to continue a statement to the next line, one uses a "+" sign (continuation sign) at the beginning of the next line. Numbers can be integers, or floating points. For example, a resistor "R1" with a value of 1 k Ω connecting nodes "In" and "Out" can be represented as:

```
R1 In Out 1e3
```

All nodes used in the data statements share the same namespace with the lead Ids defined in the *Lead_definitions* section. The *Ground_id* field is ignored by the CIM parser when defining the PDN using a netlist. The *Id* attribute of the *Lead* keyword shall carry the Id information of the DI, DO and GND (ground) pins (as defined in the *Lead_definitions* section).

Within the several data statements used to define the netlist, at least one node shall correspond to the lead defined as DI or DO and at least one node shall be GND in the *Lead_definitions* section. All other nodes used for circuit definition shall not carry the lead Ids defined in the *Lead_definitions* section. For compatibility reasons between several SPICE kinds, "0" is not allowed as node number.

The *Netlist* keyword definition is shown in Table 9.

Table 9 – Netlist definition

<i>Netlist</i>
Kind: SPICE netlist format (optional) default: "SPICE3"
Data_files: SPICE netlist in external file (optional)

The *Kind* field tells the CIM parser that the defined netlist follows a specific syntax. CIML version 1 supports the industry-standard SPICE like netlist syntaxes [2].

The *Kind* field defaults to generic "SPICE3" if absent.

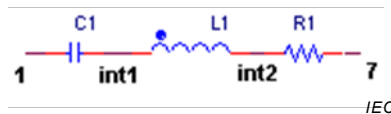


Figure 11 – Example structure for defining the PDN using circuit elements

The following example illustrates the PDN of the structure shown in Figure 11. The different circuit elements of lead "1" with respect to GND1 (lead "7") are represented using *Netlist* definition. The PDN is defined from measurements made with a power level of 10 dBm.

```
<Pdn>
  <!-- General circuit model -->
  <Lead Id="1 7" Type="Ckt">
    <Power_level>10dBm</Power_level>
    <Netlist Kind="SPICE3">
      C1 1 int1 20e-9
      L1 int1 int2 9e-9
      R1 int2 7 230e-3
    </Netlist>
  </Lead>
</Pdn>
```

The above example can also be expressed using a SPICE macro-model as illustrated below. It is assumed that "PDN_pin1" is defined in the *Macromodels* section (see 6.6).

```
<Pdn>
  <!-- General circuit model -->
  <Lead Id="1 7" Type="Ckt">
    <Power_level>10dBm</Power_level>
    <Netlist>
      Xpin1 1 7 PDN_pin1
    </Netlist>
  </Lead>
</Pdn>
```

In the above example, Xpin1 is the identifier of the sub-circuit "PDN_pin" in the main circuit.

6.8.3.5 External file containing the netlist

Instead of the inline netlist definition (see 6.8.3.4), it is possible to define the PDN in an external netlist file. The definition is done with the *Data_files* tag under the *Netlist* section. All rules with respect to the node numbers used in the netlist definition are the same as defined in 6.8.3.4. An example netlist file with circuit definition is shown in Figure 12.

```

*Netlist file created on Fri 27 Nov 2012
*Time: 14:09:02
*PDN main circuit model of PIN1 with respect to GND1
C1 1 int1 20e-9
L1 int1 int2 9e-9
R1 int2 7 230e-3

```

IEC

Figure 12 – Example of a single-ended PDN Netlist main circuit definition

In some cases, a netlist file could contain the main circuit definition and sub-circuit definitions together. To avoid ambiguity, the CIM parses only the data statements defined outside the SPICE keywords: ".SUBCKT" and ".ENDS". These keywords are not case sensitive.

An example netlist file containing both sub-circuit and min circuit data is shown in Figure 13. In the *Netlist* section, only the main circuit elements are parsed. For parsing the sub-circuit element, it is mandatory to define the same file within the *Macromodels* section (see 6.6).

```

*Netlist file created on Fri 26 Nov 2012
*Time: 08:39:14
*PDN macro-model of PIN1 with respect to GND1
.Subckt Pin1_PDN N1 N2
C1 N1 int1 20e-9
L1 int1 int2 9e-9
R1 int2 N2 230e-3
.ends
*Call in main circuit
Xpin1 1 7 Pin1_PDN

```

← Sub-circuit part

← Main circuit part

IEC

Figure 13 – Example of a single-ended PDN Netlist with both sub-circuit and main circuit definitions

The following example illustrates the PDN of lead "1" with respect to GND1 (lead with Id="7") using *Netlist* definition in an external file ("Pin1_PDN_Ckt.lib") containing both sub-circuit and main circuit definitions (Figure 13). The measurement power level is –10 dBm.

```

<Macromodels>
  <Data_files>
    Pin1_PDN_Ckt.lib
  </Data_files>
</Macromodels>
<Pdn>
  <!-- General circuit model -->
  <Lead Id="1 7" Type="Ckt">
    <Blockname>Block1</Blockname>
    <Power_level>-10dBm</Power_level>
    <Netlist>
      <Data_files>Pin1_PDN_Ckt.lib</Data_files>
    </Netlist>
  </Lead>
</Pdn>

```

In the above example, the sub-circuit definition is parsed within the *Macromodels* section and the main circuit in the *Netlist* section.

It is nevertheless recommended (which is also true in many cases) that a SPICE macro-model of a circuit element exists in a separate library or netlist file and the main circuit defined in

another. The corresponding files are defined under the *Macromodels* section and the *Netlist* section as shown below:

```
<Macromodels>
  <!-- Subcircuit model -->
  <Data_files>
    Pin1_PDN_SubCkt.lib
  </Data_files>
</Macromodels>

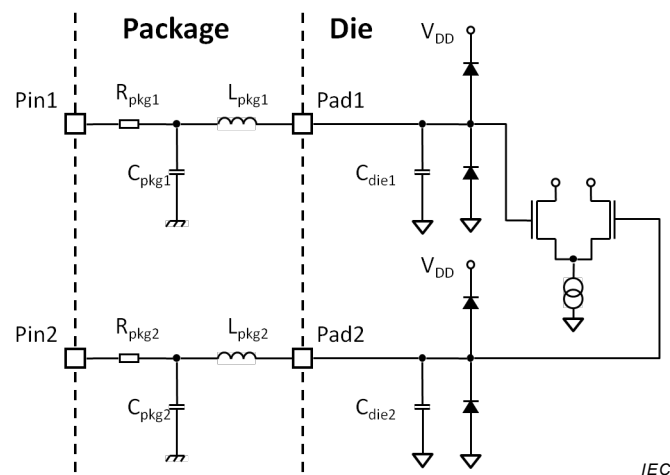
<Pdn>
  <Lead Id="1 7" Type="Ckt">
    <Power_level>-10dBm</Power_level>
    <Netlist>
      <!-- Main circuit definition -->
      <Data_files>
        Pin1_PDN_MainCkt.lib
      </Data_files>
    </Netlist>
  </Lead>
</Pdn>
```

6.8.4 PDN for a differential input

A differential input or output corresponds to a pair of pins on the IC. In that case, signal is carried by two PCB tracks. The electrical ground of the IC can be considered as a shielded track or ground plane.

It is possible that various parts of the PDN have different grounds. These grounds will be connected together either inside the device or by external connections, which will not necessarily be perfect. Care should be taken when extracting the PDN to take into account these connections.

Figure 14 gives a typical electrical schematic of a differential input.

**Key**

Pin1, Pin2	IC pin interface at the package level
R_{pkg1} , R_{pkg2}	Parasitic resistance of package corresponding to pin1 and pin2
L_{pkg1} , L_{pkg2}	Parasitic inductance of package corresponding to pin1 and pin2
C_{pkg1} , C_{pkg2}	Parasitic capacitance of package corresponding to pin1 and pin2
C_{die1} , C_{die2}	Parasitic capacitance of die corresponding to pin1 and pin2
Pad1, Pad2	IC pin interface at the die level corresponding to pin1 and pin2
VDD	IC supply voltage

Figure 14 – Differential input schematic

Figure 15 shows the impedance of the PDN represented by a two-port black-box.

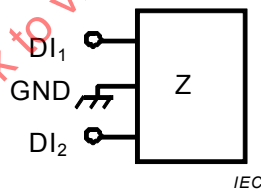
**Figure 15 – PDN represented as a two-port black-box**

Figure 16 shows an example of a file in Touchstone format with S -parameters for a differential input versus frequency. The measurement power level is included as a comment in the PDN file.

```
!Date: Wed Feb 24 16:59:43 2010
!Data & Calibration Information:
!Freq S11:SOLT2 (ON) S21:SOLT2 (ON) S12:SOLT2 (ON) S22:SOLT2 (ON)
!Power level : -10dBm
# Hz S dB R 50
10000000 -3.600368e+001 7.685763e+001 -2.980386e-002 -2.381251e+000 -2.825661e-002 -2.368914e+000
14990000 -3.247939e+001 7.772459e+001 -3.569744e-002 -3.511269e+000 -3.624313e-002 -3.507569e+000
19980000 -3.005455e+001 7.789619e+001 -4.466566e-002 -4.640308e+000 -4.369846e-002 -4.655575e+000
24970000 -2.839623e+001 7.768869e+001 -5.491686e-002 -5.775656e+000 -5.325215e-002 -5.776176e+000
29960000 -2.681729e+001 7.683536e+001 -5.999875e-002 -6.889885e+000 -6.091786e-002 -6.914319e+000
34950000 -2.558788e+001 7.569970e+001 -6.945887e-002 -8.025029e+000 -6.760100e-002 -8.027510e+000
```

IEC

Figure 16 – PDN data format for differential input or output

This data can be obtained by a two-port vector network analyzer as explained in 7.3.2. For differential inputs, CIML version 1 supports only conventional measurement method. Annex C gives more details on the conversion between S -, Z - and Y -parameters.

The PDN data of differential pins can also be represented using a SPICE-like netlist that describes the interaction between the two differential input pins [2].

Table 10 lists the valid fields of a *Lead* structure for a differential PDN definition and their usage.

Table 10 – Valid fields of the *Lead* keyword for differential PDN

Field	Description	Usage	Rules
Id	Identifier or pin number	Required	Two Ids previously defined in the Lead-definitions section (DI's, DO's and internal terminals)
Ground_id	Identifier or pin number of the return signal pin	Required for Type="S" or "Z" or "Y"	One unique Id previously defined as GND in the Lead-definitions section
Blockname	Name of the PDN block component	Optional	Valid string (see 6.8.1)
Type	PDN source parameter (S/Z/Y/Circuit)	Optional	Valid String: "S" (default) or "Z" or "Y" or "Ckt"
Param_order	Order in which parameters are defined	Optional	Valid string (see 6.8.1)
Format	Data format	Optional	"RI" (default) or "DB" or "MA"
Meas_type	Method implemented for performing PDN measurements	Optional	"0" (default)
Reference_impedance	Reference impedance used in PDN measurements	Optional	Valid numerical value with units. Default="50ohm"
Use	Parameter that is to be specifically used	Optional	One of the values in Param_order other than the Frequency term. Default: First S or Z or Y term
Netlist	SPICE type netlist	Optional	Valid SPICE like data statements. See 6.8.3.4 and 6.8.3.5
Unit_freq	Frequency units	Optional	Valid units (see A.2.5.5). Default="Hz"
Unit_param	Parameter units	Optional	Valid units (see A.2.5.5). See 6.8.2.11 for default values
Power_level	Measurement power level	Optional	Valid numerical value with units (See A.2.5.5). Default="0dBm"
Data_files	PDN source parameter defined in an external file	Required if not List	Valid for external netlist file or external network parameter file.
List	PDN data entries in the form of a list defined inline	Required if not Data_files	Valid numerical values with or without units in the specified order

CIM parser detects that the PDN definition is for differential input or output when at least two DIs or DOs are specified in the "Id" attribute as shown:

```
<Lead Id="1,2"/>
```

A maximum of two DI (or DO or internal) terminals, previously defined in the *Lead_definitions* section, shall be referenced together separated by a comma (",") character.

NOTE When using network parameters for PDN description, the lead *Ids'* value need not be coherent with the measurement port numbers. The values are matched with the port numbers in sequence, from left to right.

An example of the differential inputs of an operational amplifier is shown in Figure 17.

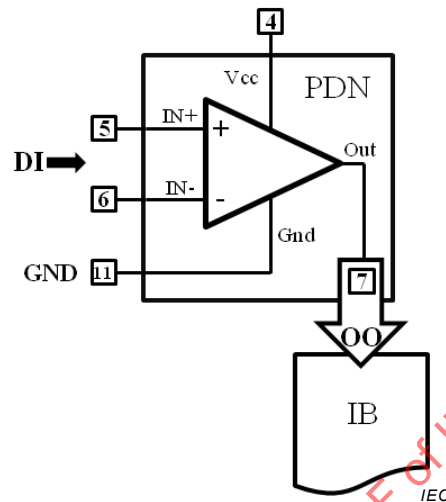


Figure 17 – Differential inputs of an operational amplifier example

The *Lead_definitions* section, showing only the pins of interest, is shown below:

```
<Lead_definitions>
  <Lead Id="5" Name="IN2+" Mode="DI"/>
  <Lead Id="6" Name="IN2-" Mode="DI"/>
  <Lead Id="4" Name="Vcc" Mode="None"/>
  <Lead Id="11" Name="Gnd" Mode="GND"/>
  <Lead Id="7" Name="Out" Mode="OO"/>
</Lead_definitions>
```

The PDN description, corresponding to the differential input pins, is:

```
<Pdn>
  <Lead Id="5,6" Ground_id="11" Type="S">
    <Data_files>Pins5_6.s2p</Data_files>
  </Lead>
</Pdn>
```

Correlating the touchstone file "Pins5_6.s2p" (shown in Figure 16) to the PDN description, lead Id="5" corresponds to Port 1 and lead Id="6" corresponds to Port 2 when using a two-port VNA. The details of measuring S-parameters using a VNA are provided in Annex F.

6.8.5 PDN multi-port description

The multi-port PDN concerns any kind of IC having several pins that need to be considered for the model. These pins can be DI, DO or internal terminals.

The PDN is then based on a full *S*- or *Z*- or *Y*-parameter matrix or an electrical netlist, describing the interactions between the different pins considered in the model. The file structure is the same as on Figure 16 but includes more ports.

NOTE When using network parameters for PDN description, the lead *Ids'* value need not be coherent with the measurement port numbers. The values are matched with the port numbers in sequence, from left to right.

Figure 18 shows an example of an ICIM-CI black box model for a 74HC08 circuit. Several pins are considered:

- "1A", "1Y" and "VCC" pins are assumed to be DI terminals in a given application,
- "1Y" is also an OO terminal that is monitored,
- "1B" is considered as a DO terminal.

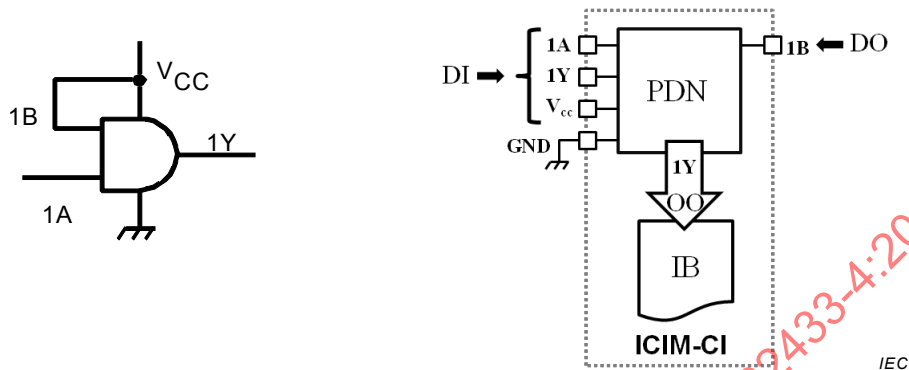


Figure 18 – ICIM-CI Model for a 74HC08 component

The CIML attributes that were defined in Table 10 for differential pins are also valid for multi-port definition except that the Id attribute can take more than two identities as its value. A three-port S-parameter matrix is used to describe the PDN corresponding to the three DI terminals.

The *Lead_definitions* and *Pdn* section, corresponding to the ICIM-CI macro-model, of the structure described in Figure 18 can be represented as:

```
<!--Lead_definitions section -->
<Lead_definitions>
  <Lead Id="1" Name="1A" Mode="DI"/>
  <Lead Id="2" Name="1B" Mode="DO"/>
  <Lead Id="3" Name="1Y" Mode="DI,OO"/>
  <Lead Id="14" Name="VCC" Mode="DI"/>
  <Lead Id="7" Name="GND" Mode="GND"/>
</Lead_definitions>

<!--Pdn section -->
<Pdn>
  <Lead Id="1,14,3" Ground_id="7" Type="S">
    <Data_files>Pins1_14_3.s3p</Data_files>
  </Lead>
</Pdn>
```

In the above example, if a three-port S-parameter measurement is made using the VNA Ports 1, 2 and 3, then "S11" corresponds to the reflection coefficient of pin with Id="1", "S22" to that of pin with Id="14", "S33" to that of pin with Id="3", "S21" is the transmission coefficient between pins "14" and "1" and so on.

6.9 IBC

6.9.1 General

Similar to the PDN, different IBC complexity levels can be considered. The simplest configuration level is modelling the IBC with two internal terminals linking two internal terminals of different PDN blocks. IBC networks that interface many PDN blocks with many internal terminals can become very complex.

The *Ibc* section of the ICIM-CI macro-model contains the IBC data that describes the ICIM-CI PDN. The data shall be defined within the *Ibc* keyword as follows:

```
<Ibc>
    IBC data
</Ibc>
```

An IBC data is defined for interfacing different PDN blocks and thus the definition shall be done within a *Lead* tag (similar to the PDN). See Figure 5 for the structural hierarchy. Many *Lead* elements can be listed one below another within the *Ibc* section.

6.9.2 Attribute definitions

The general structure of the *Lead* keyword is coherent with that listed in Table 5. However, some attribute specifications are different for the IBC network. These differences are tabulated in Table 11. All other fields in Table 5 remain unchanged.

Table 11 – Differences between the *Pdn* and *Ibc* section fields

Field	Description	Usage		Rules	
		<i>Pdn</i>	<i>Ibc</i>	<i>Pdn</i>	<i>Ibc</i>
Id	Identifier or pin number	Required	Required	One or more Ids previously defined in the Lead-definitions section as <u>external</u> or <u>internal terminals</u>	Two or more Ids previously defined in the Lead-definitions section as <u>internal terminals</u>
Ground_id	Identifier or pin number of the return signal pin	Required for Type="S" or "Z" or "Y"	Not applicable	One unique Id previously defined as GND in the Lead-definitions section	Not applicable

Table 12 lists the valid fields of a *Lead* structure for an IBC definition and their usage.

Table 12 – Valid fields of the *Lead* keyword for IBC definition

Field	Description	Usage	Rules
Id	Identifier or pin number	Required	Two or more Ids previously defined in the Lead-definitions section as internal terminals
Blockname	Name of the IBC component	Optional	Valid string (see 6.8.1)
Type	IBC source parameter (S/Z/Y/Circuit)	Optional	Valid String: "S" (default) or "Z" or "Y" or "Ckt"
Param_order	Order in which IBC parameters are defined	Optional	Valid string (see 6.8.1)
Format	Data format	Optional	"RI" (default) or "DB" or "MA"
Meas_type	Method implemented for performing IBC measurements	Optional	"0"
Reference_impedance	Reference impedance used in IBC measurements	Optional	Valid numerical value with units: "50ohm"
Use	Parameter that is to be specifically used	Optional	One of the values in Param_order other than the Frequency term. Default: First S or Z or Y term
Netlist	SPICE type netlist	Optional	Valid SPICE like data statements. See 6.8.3.4 and 6.8.3.5
Unit_freq	Frequency units	Optional	Valid units. See A.2.5.5 Default="Hz"
Unit_param	Parameter units	Optional	Valid units (see A.2.5.5). See 6.8.2.11 for default values
Power_level	Measurement power level	Optional	Valid numerical value with units (see A.2.5.5). Default="0dBm"
Data_files	IBC source parameter defined in an external file	Required if not List	Valid for external netlist file or external network parameter file.
List	IBC data entries in the form of a list defined inline	Required if not Data_files	Valid numerical values with or without units in the specified order

Any relevant information that is required for correct understanding (and usage) of the IBC shall be optionally defined within the *Notes* and *Documentation* tags.

6.10 IB

6.10.1 General

The *Ib* section of the ICIM-CI macro-model contains the IB data that describes the model. The data shall be defined within the *Ib* keyword as follows:

```
<Ib>
    IB data
</Ib>
```

Similar to the PDN definition, IB data is defined for a particular IC pin and thus the definition shall be done within a *Lead* tag (see Figure 5 for the structural hierarchy). Several *Lead* elements can be listed one below another in the *lb* section to represent the IB data to the different pins of the IC. Table 13 lists the various recognized fields of the *Lead* keyword in the *lb* section:

Table 13 – Definition of the *Lead* keyword in *lb* section

<i>Lead</i>
Id : pin identity as a valid string (required)
Ground_id : return signal path as a valid string (required)
Blockname : IB block name as a valid string
Type : IB source parameter -"DPI" (required)
Max_power_level : Maximum injected power
Voltage : IB data defined as a voltage quantity (required if not Current or Power)
Current : IB data defined as a current quantity (required if not Voltage or Power)
Power : IB data defined as transmitted power quantity (required if not Voltage or Current)

The frequency range of the IB information shall be specified in the *Validity* section under the *Frequency_range* tag.

NOTE The frequency range of validity of the ICIM-CI macro-model is the common frequency range of the PDN and IB.

Any other relevant information that is required for correct understanding (and usage) of the IB shall be optionally defined within the *Notes* and *Documentation* tags. Details such as IC operating mode, decoupling capacitors on supply lines, activated functions, grounding details, datasheets and test reports can be defined.

6.10.2 Attribute definitions

6.10.2.1 Id

The *Lead* Ids used in this IB definition should have been previously defined as DI pins in the *Lead_definitions* tag as described in 6.5. One or more lead Ids are permitted.

This is a required field.

6.10.2.2 Ground_id

The *Lead* *Ground_ids* used in this IB definition should have been previously defined as GND in the *Lead_definitions* tag in 6.5. Only one unique *Ground_id* is permitted per *Lead* definition.

This is a required field.

6.10.2.3 Blockname

The *Blockname* field is used to define the name of the IB block.

This field is optional and is used for representing the IB as a sub-block. This field is intended for informational purposes only. The CIM parser does not interpret this field.

6.10.2.4 Type

The *Type* attribute is used to represent the type of the IB data. CIML version 1 supports only one type: "DPI" in the frequency domain.

This attribute is open for progress and improvement. It may be reusable for time domain immunity modelling at a later stage.

This is a required field.

6.10.2.5 Max_power_level

This optional field specifies the maximum injected power on the specific DI pin (lead Id). The *Max_power_level* attribute definition is shown in Table 14.

Table 14 – *Max_power_level* definition

<i>Max_power_level</i>
Value: Value of the maximum power level along with units (required)
Start_freq: Start frequency (optional)
Stop_freq: Stop frequency (optional)

If defined, it has one required attribute, *Value*, which carries the value of the maximum injected power. For simplicity reasons the value defined for the *Value* attribute shall be defined along with units as discussed in A.2.5.3 (for example, *Value*="35dBm"). By default, this value is used for all frequencies in which the main IB data is defined (see Example 1).

If several values need to be defined in specific frequency bands of interest, then multiple *Max_power_level* definitions shall be made one after another by specifying the frequency band values (Start frequency and Stop frequency) within the *Start_freq* and *Stop_freq* keywords (see Example 2).

EXAMPLE 1 The following syntax specifies that the maximum injected power level is 40 dBm in the entire frequency range of validity.

```
<Max_power_level Value="40dBm"/>
```

EXAMPLE 2 The following syntax specifies that the maximum injected power level is 35 dBm in the frequency band from 1 MHz to 500 MHz, 25 dBm in the frequency band from 510 MHz to 1 GHz.

```
<Max_power_level>
  <Value>"35dBm"</Value>
  <Start_freq>1MHz</Start_freq>
  <Stop_freq>500MHz</Stop_freq>
</Max_power_level>

<Max_power_level>
  <Value>"25dBm"</Value>
  <Start_freq>510MHz</Start_freq>
  <Stop_freq>1GHz</Stop_freq>
</Max_power_level>
```

6.10.2.6 Voltage, Current and Power

The main IB data is defined under the *Voltage*, *Current* and/or *Power* sections.

At least one definition is required. The voltage data is defined within the *Voltage* keyword and the current data is defined within the *Current* keyword. The *Power* section is used to define the transmitted power on to the IC pin (lead Id).

The common definition of the *Voltage*, *Current* and *Power* sections is shown in Table 15.

Table 15 – Voltage, Current and Power definition

Voltage / Current / Power
Test_criteria: Details on test conditions (required)
Param_order: Order in which IB parameters are defined (optional)
Format: IB Data format (optional)
Unit_voltage: Unit of the voltage terms (optional)
Unit_current: Unit of the current terms (optional)
Unit_power: Unit of the power terms (optional)
Unit_freq: Unit of the frequency terms (optional)
Data_files: IB source parameter defined in an external file (required if not List)
List: IB parameter list (required if not Data_files)

These sections have two required child elements: *Test_criteria* and *List* (or *Data_files*). All other attributes and elements in Table 15 are optional.

6.10.2.7 Test_criteria

The test conditions shall be defined within the *Test_criteria* keyword, which is a required field. These test conditions correspond to the particular IB definition. Its attributes are shown in Table 16.

Table 16 – Test_criteria definition

Test_criteria
Id: identity of the OO pin (required)
Ground_id: return signal identity for the OO pin tested (optional)
Type: Type of test performed – "PF" for pass/fail, "NPF" for non pass/fail (required)
Level: Susceptibility level set on the OO pin (optional)
Parameter: The parameter in which the test is performed (optional)

The *Test_criteria* has two required attributes: *Id* and *Type*. The *Id* attribute is one of the OO pins defined in the *Lead_definitions* section (see 6.5). It informs the user that the test is conducted based on monitoring the specified OO pin. Non OO pins are not accepted.

The optional *Ground_id* field represents the return signal path for the OO pin defined in the *Id* field. If absent, the *Ground_id* defined in the top level IB lead definition is considered by the CIM parser. If explicitly defined, the value of the *Ground_id* field shall correspond to one of the GND pins defined in the *Lead_definitions* section (see 6.5).

The *Type* attribute can either be "PF" for pass/fail tests or "NPF" for non pass/fail tests.

The *Level* attribute defines the tolerance level set during the test with respect the nominal OO signal. For simplicity reasons the value of the *Level* attribute shall be defined along with units as discussed in A.2.5.3 (for example, *Level*="+200mV"). If multiple tolerance levels need to be defined, they shall be represented as single values separated by a comma (",") character. For example, to set a tolerance limit of ± 200 mV, one shall define:

```
Level="+200mV, -200mV"
```

If absent, it defaults to "None".

The value of the *Parameter* attribute represents the parameter on which the pass/fail or non pass/fail test has been carried out. In CIML version 1, the *Parameter* attribute accepts the following values:

- "Amplitude" – The test level is set on the amplitude of the OO pin's signal
- "Mean" – The test level is set on the mean of the OO pin's signal
- "Time" – The test level is set as jitter
- "Duty" – The test level is set on the duty cycle of the OO pin's signal
- "Period" – The test level is set on the period of the OO pin's signal
- "BER" – The test level is set on the Bit Error Rate of the OO pin's signal
- "SNR" – The test level is set on the Signal-to-Noise Ratio of the OO pin's signal
- "None" – No parameter is defined or none of the above (default)

This definition is not exhaustive and is open for progress and improvement. Newer values could be accepted in the future CIML versions. If absent, the default value is "None".

Multiple test criteria for the same OO pin can be defined one after other. Nevertheless, it is not realistic to define multiple OO pins under the same parent section (*Voltage*, *Current* or *Power*), i.e. the following is not permitted:

```
<Lead Id="1" Ground_id="7" Type="DPI">
  <Voltage Param_order ="Freq,Volt" Format="MA">
    <Test_criteria Id="9" Ground_id="8" Type="PF" .../>
    <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF" .../>
    ...
  </Voltage>
</Lead>
```

Whereas the following is permitted:

```
<Lead Id="1" Ground_id="7" Type="DPI">
  <Voltage Param_order ="Freq,Volt" Format="MA">
    <Test_criteria Id="9" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Amplitude"/>
    <Test_criteria Id="9" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Time"/>
    ...
  </Voltage>
  <Voltage Param_order ="Freq,Volt" Format="MA">
    <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Amplitude"/>
    <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Time"/>
    ...
  </Voltage>
</Lead>
```

In the above example, two IB data for pin "1" with respect to pin "7" (ground reference) are defined using two different *Voltage* sections, with lead "9" used as OO for the first and lead "10" for the second. Both the data are represented as *Voltage* quantities and represented with respect to lead "8" as ground reference. The same namespace with the *Lead_definitions* section is to be followed (see 6.5).

If the different *Voltage*, *Current* or *Power* sections, defined under the same top-level *Lead* tag, have the same *Id* in their *Test_criteria* field (same OO pin reference), then they are considered to be measured together.

EXAMPLE

```

<Lead Id="1" Ground_id="7" Type="DPI">
<Voltage Param_order ="Freq,Volt" Format="MA">
  <Test_criteria Id="9" Ground_id="8" Type="PF"
    Parameter="Amplitude"/>
  <Test_criteria Id="9" Ground_id="8" Type="PF"
    Parameter="Time"/>
  ...
</Voltage>
<Voltage Param_order ="Freq,Volt" Format="MA">
  <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
    Parameter="Amplitude"/>
  <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
    Parameter="Time"/>
  ...
</Voltage>

<Current Param_order ="Freq,Current" Format="MA">
  <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
    Parameter="Amplitude"/>
  <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
    Parameter="Time"/>
  ...
</Current>
</Lead>

```

In the above example, the *Voltage* and *Current* sections, representing the IB data obtained by monitoring the OO lead "10" are regrouped together by the CIM parser. In contrast, the *Voltage* section with monitoring on OO lead "9" is considered to be another IB data for the same parent lead Id="1".

Any other specific details pertaining to the test conditions shall be defined with the *Notes* and *Documentation* sections. See E.4 for more information.

6.10.2.8 Param_order

The *Param_order* attribute tells the CIM parser how the IB data is represented. The following strings are dedicated for specifying the parameter order:

- "Freq" and "Frequency": Frequency values used for parameters' definition
- "Volt" and "Voltage": Voltage values used for parameters' definition
- "Curr" and "Current": Current values used for parameters' definition
- "Pwr" and "Power": Power values used for parameters' definition

If absent, it defaults to "Freq,Volt" in the *Voltage* section, "Freq,Curr" in the *Current* section and "Freq,Pwr" in the *Power* section.

6.10.2.9 Format

The *Format* attribute decides the data format. Valid data formats for IB are:

- "RI": real/imaginary format
- "DB": Magnitude in decibel scale with phase angle in degrees
- "MA": Magnitude in linear scale with phase angle in degrees
- "DBMAG": Magnitude in decibel scale without phase information
- "MAG": Magnitude in linear scale without phase information

This field is optional. If absent, the default value is "RI".

6.10.2.10 Unit_freq, Unit_voltage, Unit_current and Unit_power

The parameter units are defined under the *Unit_freq*, *Unit_voltage*, *Unit_current* and *Unit_power* tags for frequency, voltage, current and power quantities, respectively. Depending on the parent element, only the corresponding units are considered, i.e. *Unit_voltage* is allowed under the *Voltage* section and so on. Only *Unit_freq* attribute is defined for multiple sections.

If absent, *Unit_freq* defaults to "Hz". See Table 17 for default values of *Unit_voltage*, *Unit_current* and *Unit_power* tags as a function of data format.

Table 17 – Default values of *Unit_voltage*, *Unit_current* and *Unit_power* tags as a function of data format

Parameter	Data format	Default Unit_voltage values	Default Unit_current values	Default Unit_power values
Voltage	RI	V	–	–
	MA or MAG	V	–	–
	DB or DBMAG	dBV	–	–
Current	RI	–	A	–
	MA or MAG	–	A	–
	DB or DBMAG	–	dBA	–
Power	RI	–	–	W
	MA or MAG	–	–	W
	DB or DBMAG	–	–	dBW

6.10.2.11 Data_files and List

The definitions of the *Data_files* and *List* keywords are similar to that seen with the PDN definition (see 6.8.2.13). The *Data_files* tag is used to differentiate between inline and external data. If the PDN data is defined in one or more external files, the link to the file(s) shall be specified within the *Data_files* tag. Inline data is directly defined under the top level *Voltage* or *Current* or *Power* tag within a *List* tag if needed. Files with the extensions given in Table 18 are allowed for describing the IB data.

Table 18 – Valid file extensions in the *Ib* section

File extension	Common name
dat or DAT	Data file
csv or CSV	Comma separated values
txt or TXT	Text file

6.10.3 Description

6.10.3.1 Inline data

If the IB data (voltage, current or power) are defined for a single frequency, then they can be defined within the corresponding section (*Voltage*, *Current* or *Power*) keyword directly. If the IB data are defined for multiple frequencies (more than one frequency), data shall be written within the *List* keyword under each section. The frequency units shall be defined within the *Unit_freq* keyword, voltage units shall be specified using the *Unit_voltage* keyword, that of

current using the *Unit_current* keyword and power units using the *Unit_power* keyword. When absent, default values are used (see 6.10.2.10). Refer to A.2.5 for valid values and units.

The following example illustrates the IB data, obtained through a DPI test, representing the transmitted power on lead "1" with the following test conditions: Pin with Id="9" is monitored with pass/fail criteria with a tolerance level of $\pm 2,5$ V with respect to the nominal output voltage amplitude and ± 5 μ s with respect to the nominal output voltage distortion in time. The test is carried out with a maximum power level of 35 dBm (in all tested frequencies) injected on lead "1". Only the magnitude of the output power in watts (W) is represented.

```
<Ib>
  <Lead Id="1" Ground_id="7" Type="DPI">
    <Max_power_level Value="35dBm"/>
    <Power Param_order ="Freq,Power" Format="DBMAG">
      <Test_criteria Id="9" Type="PF" Level="+2.5V,-2.5V"
        Parameter="Amplitude"/>
      <Test_criteria Id="9" Type="PF" Level="+5us,-5us"
        Parameter="Time"/>
      <Blockname>Block_OOPin1</Blockname>
      <Unit_freq>MHz</Unit_freq>
      <Unit_power>W</Unit_power>
      <List>
        1 1.536571142
        2 0.8327052017
        3 0.9596036832
        4 0.8646181202
        5 0.7045024392
        ...
      </List>
    </Power>
  </Lead>
</Ib>
```

The IB data can be obtained through DPI or RFIP measurements as explained in 7.4.

6.10.3.2 External file data

As stated in 6.10.2.11, for directing the CIM parser to use the necessary external data file in ASCII format, the definition shall be made using the *Data_files* keyword under the *Voltage*, *Current* or *Power* sections. All other rules are the same as those seen with inline data definition in 6.10.3.1. An example of an IB file is shown in Figure 19. Note that all comment lines, if present, are indicated by the exclamation ("!") symbol at the beginning, but they not parsed by the CIM parser.

!f (Hz)	Pt (W)
!Monitoring on LIN	
1000000	0.01210474359
2000000	0.004227117987
3000000	0.002897663639
4000000	0.002649712504
5000000	0.00250762503
6000000	0.002345954784
7000000	0.002308431188
8000000	0.002346253032
9000000	0.002633505446
10000000	0.00246788178
15000000	0.008718441842
20000000	0.01087608427
25000000	0.007527113401
30000000	0.007196132914
35000000	0.007041186572
40000000	0.006978506095
45000000	0.007011565952
50000000	0.009056521981
...	

IEC

Figure 19 – Example IB file obtained from DPI measurement

This information can be obtained through DPI or RFIP measurement methods as explained in 7.4. An example of the *Ib* section, defined using IB data in an external file, is shown below:

```
<Ib>
  <Lead Id="1" Ground_id="7" Type="DPI">
    <Max_power_level Value="35dBm"/>
    <Power Param_order ="Freq,Power" Format="DBMAG">
      <Test_criteria Id="9" Ground_id="7" Type="PF"
        Level="+2.5,-2.5V" Parameter="Amplitude"/>
      <Test_criteria Id="9" Ground_id="7" Type="PF"
        Level="+5us,-5us" Parameter="Time"/>
      <Unit_freq>MHz</Unit_freq>
      <Unit_power>W</Unit_power>
      <Data_files>
        IB DPI_Injection9.txt
      </Data_files>
    </Power>
  </Lead>
</Ib>
```

7 Extraction

7.1 General

ICIM-CI macro-model parameters can be extracted from either design information or measurements. Detailed methodology for model parameter extractions are not the purpose of this part of IEC 62433. Clause 7 gives basic information for obtaining the model parameters from measurements.

7.2 Environmental extraction constraints

The ICIM-CI macro-model parameter extractions have to be performed under normal room temperature conditions: $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. There are no additional requirements on air pressure and humidity.

When open silicon is used, the lights shall be dimmed or switched off in order not to generate photonic effects.

NOTE Some substrate materials are hydroscopic which might affect the permittivity of the material and its loss tangent.

7.3 PDN extraction

7.3.1 General

The PDN impedance is extracted using different configurations proposed in CISPR 17. As per the standard, impedance of a DUT is measured using impedance-measuring equipment and a test fixture.

An appropriate combination of the measuring equipment and test fixture shall be selected according to the DUT configuration and the test frequency. As the PDN impedance may vary with bias, extraction of PDN elements shall be performed with the DUT "powered" in order to be close to normal operating conditions. Care shall be taken not to over bias the DUT.

The measurement system shall be traceable to a national standards organization. The measuring system and the test fixture shall be properly calibrated as specified in the equipment's instruction manuals.

There are several methods to extract these PDN parameters. They are described briefly in 7.3.2 and 7.3.3.

7.3.2 *S*-/*Z*-/*Y*-parameter measurement

One method to measure the DUT's network parameters (*S*- or *Z*- or *Y*-parameters) consists of using impedance-measuring equipment. As per CISPR 17, impedance measurement of a DUT is carried out by one of two methods: the direct method or the indirect method.

In the direct method, impedance shall be measured by inserting the DUT into the test fixture and by sweeping the measurement frequency with the impedance-measuring equipment. The relationship between the impedance and the frequency shall be recorded within the required frequency range.

In the indirect method, the impedance of a DUT can be evaluated from its *S*-parameters. In this case, the *S*-parameters are measured using a vector network analyzer within the required frequency range. Modern VNAs typically include a function for calculating the impedances.

Measurement setup may vary depending on whether the test-pin is single-ended or differential. These methods are described in Annex F.

Conversion between different network parameters is provided in Annex C.

7.3.3 RFIP technique

The PDN elements can be extracted with a measurement method based on a DPI test setup (IEC 62132-4).

Probes can be passive (*R*, *L*, *C* elements) or active (*R*, *L*, *C* and transistors). Therefore, calibration of these probes is required. Pin impedance is extracted from voltage and current measurements.

One probe allows to measure impedance of one-pin (one-port). For several port measurements (multi-pin), several probes are required.

Detailed description of RFIP technique is available in Annex G.

7.4 IB extraction

7.4.1 General

As discussed in 5.4, the IB component of the ICIM-CI macro-model describes how the IC reacts to the applied disturbances. The disturbance may be injected in one or many IC leads simultaneously. The IB is defined in the frequency domain by representing transmitted power (P_T) on to the DI pin(s) as a function of frequency, as well as the variations on one or more OO. The transmitted power threshold is the intrinsic power which induces a malfunction. The variation of the signal at OO is considered to depend on the transmitted power entering in the device.

There are several methods to extract these IB parameters. Two of them are described in 7.4.2 and 7.4.3.

7.4.2 Direct RF power injection test method

The direct RF power injection (DPI) measurement method is an internationally accepted technique to verify the robustness of an IC against an injected RF signal. The requirements of this measurement method are defined in IEC 62132-4. The test setup is shown in Figure 20.

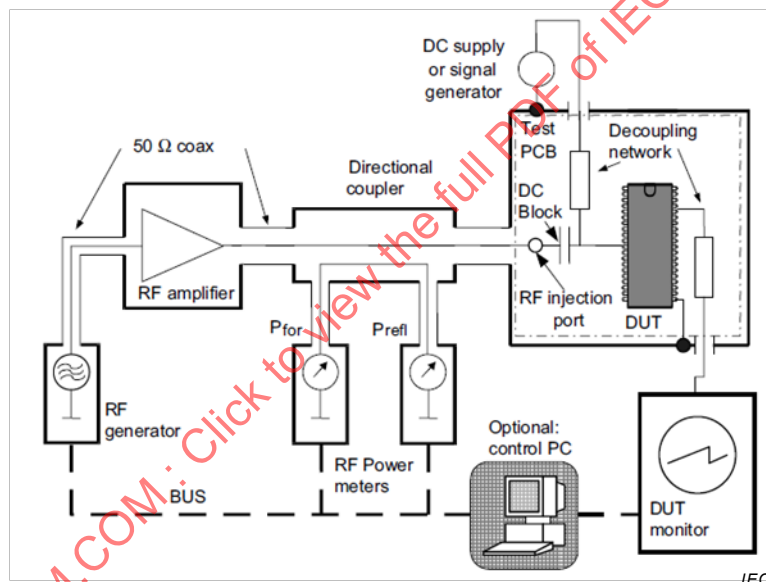
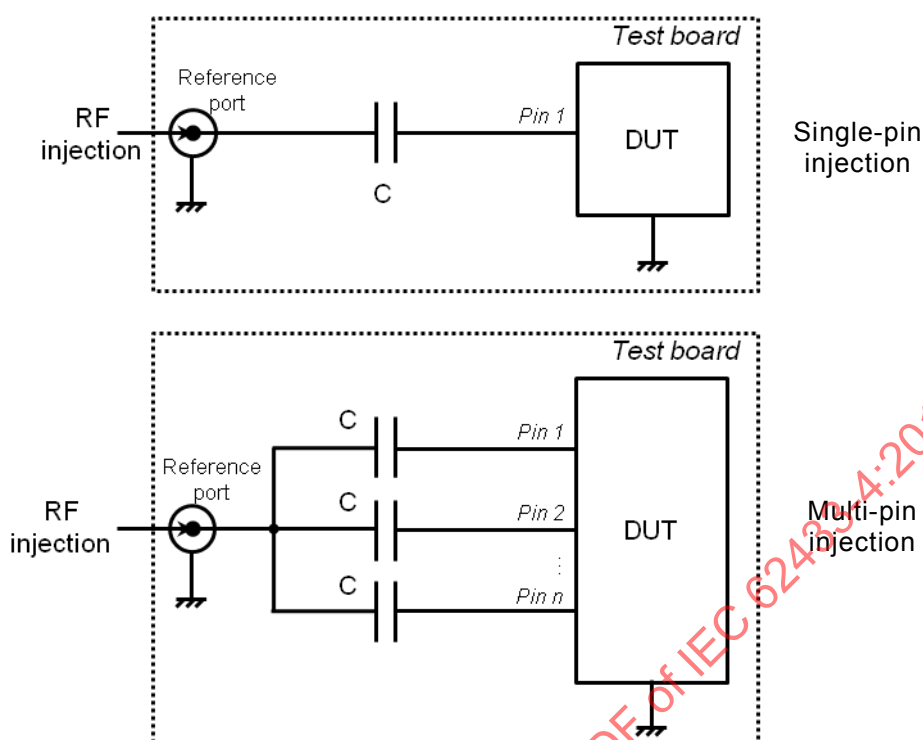


Figure 20 – Test setup of the DPI immunity measurement method as specified in IEC 62132-4

The continuous wave (CW) RF disturbance signal is generated by the RF generator which is connected to the RF amplifier. The signal is injected into the test board carrying the test IC through an optional directional coupler. The use of the directional coupler is to measure the injected and reflected power if needed with the use of RF power-meters. At the reference port on the test board (RF injection port), the RF disturbance signal is connected to one or more pins of the IC. A DC block capacitor is used to avoid supplying DC to the output of the RF amplifier. On the other side, a decoupling network is used so as to prevent DC supply from receiving the RF power. Single and multi-pin injection is illustrated in Figure 21.



IEC

Figure 21 – Principle of single and multi-pin DPI

The test procedure is as follows:

- The power of the disturbance signal is increased stepwise at each frequency of interest, until the DUT shows a malfunction on the OO pin.
- Sufficient dwell time is chosen so that the DUT is allowed to react to the disturbance signal.
- A maximum injection power level may also be set during the tests.
- At each frequency, the power level at which a malfunction is induced is measured with a power meter across the coupler ports when used. If needed, both injected power and reflected power can be measured simultaneously. When the coupler is not used, then the RF power level is directly measured at the output of the RF amplifier.

Depending on the measured quantities, the method for extracting the transmitted power on to the test lead varies. Refer to IEC 62132-4 for more information on the DPI test method.

When both injected power (P_i) and reflected power (P_r) are measured across the dual directional coupler, it is possible to calculate the transmitted power (P_{Tref}) on to the reference port using:

$$P_{Tref} = P_i - P_r$$

This power corresponds to the power transmitted at the reference port on the test board. To calculate the actual transmitted injected on the lead pin, electrical simulations shall be performed so as to take into account the traces and other elements connected to the reference port. This is illustrated in Figure 22.

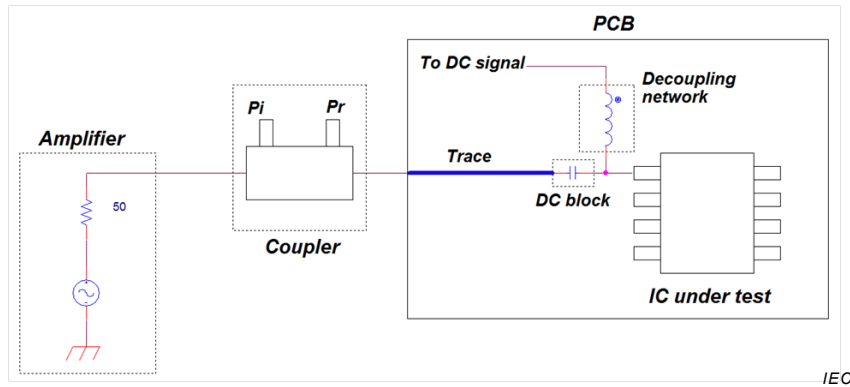


Figure 22 – Electrical representation of the DPI test setup

The traces on the PCB and other passive components such as the DC block capacitor and the decoupling network shall be modelled accurately with their respective high-frequency models. The DI pin under test is represented by its PDN measured using one of the methods explained in 7.3. Since P_i is measured, the equivalent injection voltage (e) can be calculated using:

$$P_i = \frac{e^2}{4Z_0}$$

with $Z_0 = 50 \Omega$. The transmitted power to the DI pin (P_T) can be calculated from the voltage (V_{DUT}) and current simulated (I_{DUT}) at the reference port by using:

$$P_T = \frac{1}{2} \operatorname{Re} [V_{DUT} I_{DUT}^* + V_{DUT}^* I_{DUT}]$$

If the coupler is not used, the same technique can be applied, except that the injected power (P_i) is the RF power at the amplifier stage.

If the extraction of IB is based on the use of measurements (for example IEC 62132-4), then the valid frequency range of the IB corresponds to the corresponding standard.

7.4.3 RF Injection probe test method

The RF injection probe (RFIP) method is derived from the DPI immunity test method. The probe applies the disturbance and measures the voltage across the DUT (V_1 and V_{DUT}). The I_{DUT} , P_{DUT} and Z_{DUT} parameters are then computed. An oscilloscope is used to measure V_1 and V_{DUT} in the time domain. All computation is performed in the frequency domain thanks to a processing performed with a software tool.

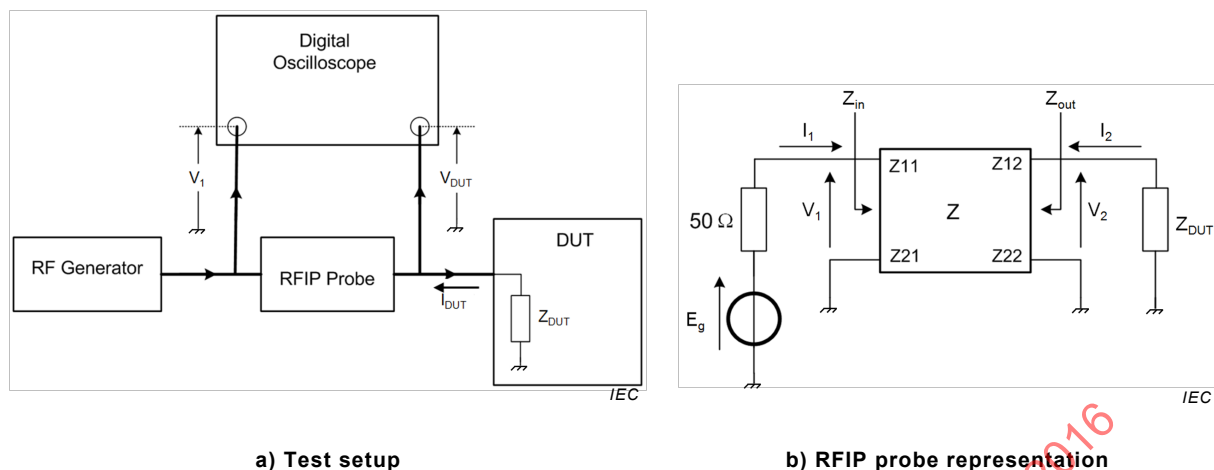


Figure 23 – Test setup of the RFIP measurement method derived from the DPI method

This method is based on the current and voltage measurements. Thus, obtaining the immunity parameters is reasonably straightforward in this method.

The RF injection probe is defined by the Z-matrix characterized by two-port S-parameter measurements (see Figure 23). All the key electrical parameters, namely I_{DUT} , Z_{DUT} and P_{DUT} can be computed based on the measuring the voltages V_{DUT} and V_1 .

It shall be noted that Z_{DUT} of the particular DI pin is defined in the PDN part of the ICIM-CI macro-model. Based on these fundamentals, the RFIP allows measurement of the power transmitted into the DUT (P_T). The measurement method is explained in detail in Annex G. The transmitted power is calculated from the following equations:

$$P_T = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left[\frac{V_{DUT} I_{DUT}^*}{Z_{DUT}} \right] = \frac{1}{2} \operatorname{Re} [I_{DUT} I_{DUT}^* Z_{DUT}]$$

Though IB is always termed as the transmitted power in the frequency domain, it is possible to represent IB as a voltage or current quantity due to the inherent relation between V_{DUT} , I_{DUT} and P_T .

If the IB data is represented using the complex voltage V_{DUT} or complex current I_{DUT} , P_T is computed with the use of Z_{DUT} available in the PDN. In these cases, it is mandatory to define V_{DUT} and I_{DUT} as a complex quantity. If P_T is defined as IB, then it is directly used and can be represented in any format (real or complex).

If the RFIP test method is used, then the valid frequency range of the ICIM-CI macro-model's IB extracted using RFIP is the same as that of the measurement data.

7.4.4 IB data table

In the simplest case, a table summarizes the transmitted power corresponding to the level at which the failure occurs. The example IB data of a voltage regulator, obtained from DPI measurement, is illustrated in Table 19. The injected power causing the malfunction on a chosen OO lead is used to calculate the transmitted power (see 7.4.2). User set immunity criteria have been applied on the OO lead and a binary pass/fail test is performed. More details on the test setup and criteria are discussed in Clause 9.

Table 19 – Example of IB table pass/fail criteria

Frequency (MHz)	P_T (dBm)
1	18,11
2	23,15
3	22,10
4	21,13
5	18,04
10	10,82
50	9,25
100	16,88
200	7,95
500	12,34
980	31,40
NOTE Only some immunity values have been listed for illustrative purposes.	

Table 19 can also be represented by including all tested frequencies, irrespective of the whether the malfunction has occurred or not.

It is also possible to represent the IB data using a non pass/fail test type. In such cases, the IB table shall contain the maximum transmitted power (versus frequency) before any variation on the OO is induced. Example data are shown in Figure H.1 (see Annex I).

7.5 IBC

The IBC impedance can be derived from the power-supply pin ($V_{DD} - V_{SS}$) impedance by subtracting the impedance part that belongs to the PDN. A detailed method should be elaborated in future.

8 Validation of ICIM-CI hypotheses

8.1 General

The model structure is based on hypotheses that need to be verified in order to validate the model and justify its capability to predict the EMC behaviour in other conditions than the one used to extract the model.

The first hypothesis is linked to the use of network parameters (S or Z or Y) to describe the PDN of the component, or more generally to the description without considering non-linear effects.

The second hypothesis is on the use of the transmitted power criterion as a relevant parameter for defining and expressing the immunity of the device.

Both these hypotheses are validated using a transistor (a non-linear device) as an example. The test setup is shown in Figure 24. The base and the emitter of the transistor are grounded (connected to 0 V reference) and the collector is biased with a 5 V supply. The base is the DI terminal and the collector is the OO terminal that is monitored for defect, with tolerance of ± 200 mV on amplitude.

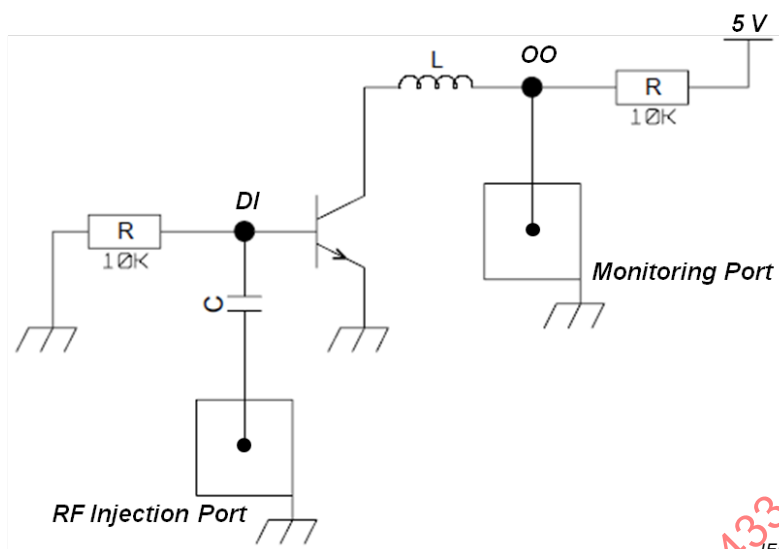


Figure 24 – Example setup used for illustrating ICIM-C hypotheses

8.2 Linearity

It is evident that a disturbance of an integrated circuit could also be caused by a non-linear effect. Nevertheless, in our approach, we suppose that this non-linear behaviour can be neglected in the PDN description, until the malfunction appears. This hypothesis shall be verified to validate the model.

This can be validated by measuring transfer functions with a network analyzer, for incident power close to the disturbance level identified during the DPI test (if it is the method used to characterize the device). The level is usually set at 6 dB below the susceptibility threshold to perform the measurement. This result can then be compared to a simulation result being based on linear models (such as S-parameters).

If there is no more than 3 dB deviation between both results we can conclude that the linearity hypothesis is verified, and that the model is validated for this aspect. Figure 25 provides an example of comparison between measurement and simulation for a $|S_{21}|$ coefficient, corresponding to the transmission coefficient between the base and the collector of the transistor shown in Figure 24.

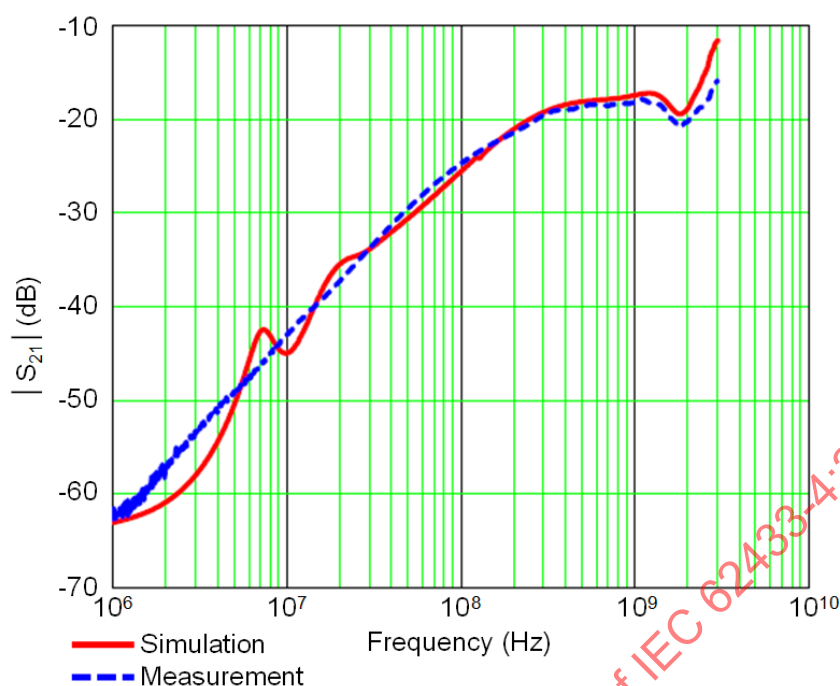


Figure 25 – Example of linearity assumption validation

8.3 Immunity criteria versus transmitted power

The second hypothesis is to consider that an integrated circuit will be disturbed for a given transmitted power on a pin, and that this can be considered as an intrinsic data for the component. This means that the environment (filtering, PCB layout, etc.) will only act in the transfer function of disturbances until the IC inputs, but not on the transmitted power threshold causing a malfunction.

In order to validate this, it is recommended to perform DPI tests (if it is the method used to characterize the immunity of the device) in two configurations. The first one will be used to extract the transmitted power threshold. The second one can consist in adding typical filters such as those envisaged in the application. Based on the established model, one can predict the performance in this second configuration and compare its prediction with the experiment. The correlation allows to validate the predictive performance of the model, and to validate the use of the transmitted power as a relevant criterion to describe the immunity of a device.

An example of prediction is provided in Figure 26, allowing the validation of this second hypothesis on the setup shown in Figure 24. The immunity level in Figure 26 corresponds to the injected power on the base of the transistor (DI) for which a defect has been observed on the collector pin (OO) for an amplitude tolerance of ± 200 mV.

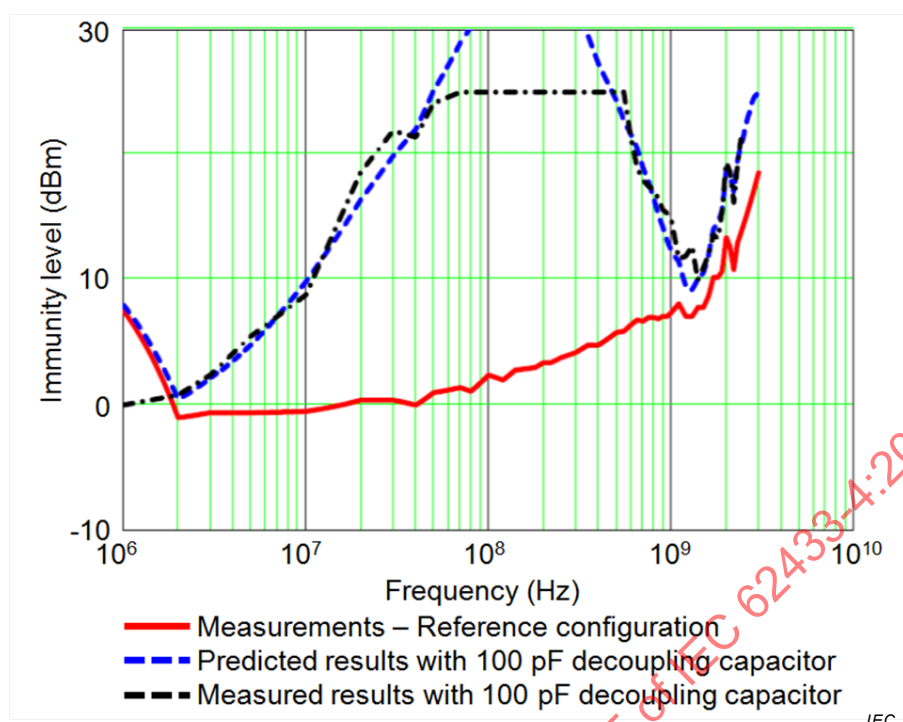


Figure 26 – Example of transmitted power criterion validation

In Figure 26, it should be noted that the predicted results correlate well with the measured results with 100 pF decoupling capacitor. From about 50 MHz to 500 MHz the measured results have reached the maximum allowed power level (25 dBm in this case), whereas the predicted results can exceed this level.

9 Model usage

As previously stated, ICIM-CI macro-model's PDN and IB sub-models are valid in the conditions in which they have been established. Nevertheless, ICIM-CI macro-model can be used at application level simulation in SPICE like simulators, incorporating external components (environment models) such as decoupling capacitors, filter components, and PCB trace parasitics. An example use of an ICIM-CI macro-model is shown in Figure 27.

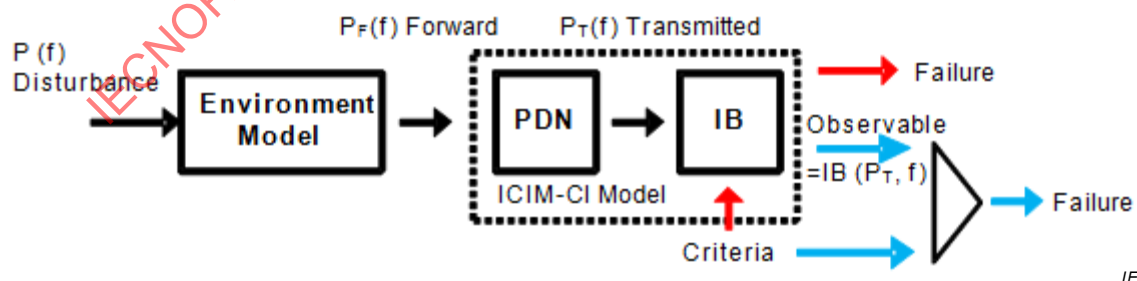


Figure 27 – Use of the ICIM-CI macro-model for simulation

Failure prediction output by simulation is dependent on the IB block itself. If the IB has been determined using binary pass/fail method (immunity criteria is already incorporated in the IB), then the simulations can directly estimate failure. The simulation flow is represented using red arrows in Figure 27. An application example, based on pass/fail test, to predict IC immunity behaviour (failure) is illustrated in Annex H.

However, failure detection cannot not be performed by the IB block directly if it has been extracted using a non pass/fail test. The failure detection has to be done by monitoring the simulated transmitted power and the behavioural data supplied by the IB block; the simulation result is analogue data and not binary data. Immunity criteria shall be applied at this stage to predict the IC failure. The simulation flow for such cases is represented using blue arrows in Figure 27. An example of using a non pass/fail test result to predict IC failure is illustrated in Annex I.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62433-4:2016

Annex A (normative)

Preliminary definitions for XML representation

A.1 XML basics

A.1.1 XML declaration

Although the XML declaration is optional in an XML file, the ICIM-CI macro-model file shall include an XML declaration, dedicated to basic XML parsers.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
```

The XML declaration shall be the first line of the file.

A.1.2 Basic elements

All information is saved in the form of XML elements. Each element starts with a start-tag and ends with an end-tag. The start-tag consists of a keyword enclosed in triangular brackets, `<Keyword>`. The end-tag consists of the same keyword prefixed by the character "/" and enclosed in brackets, `</Keyword>`. Content in the form of text is enclosed by a start-tag and an end-tag.

An example of an element is given below:

```
<Keyword>          <!-- start-tag -->
    text           <!-- content -->
</Keyword>         <!-- end-tag -->
```

It is also allowed to write an element on the same line, for example, to include short content:

```
<Keyword>text</Keyword>
```

The contents of an element may consist of one or more elements or a value (numerical, or alphanumerical). For clarity, tab characters may be used for indenting. Except when used for surrounding keywords, triangular brackets "<" and ">" shall not be part of content.

The text shall use characters from the UTF-8 set (space " ", "<", ">", "&" are not included).

An empty element may be included to indicate that a particular keyword exists, but has no content:

```
<empty_element/>
```

A.1.3 Root element

The XML file shall contain one, and only one, root element. It encloses all the other elements and is therefore the sole parent element to all the other elements. The start-tag of the root element is placed at the beginning of the file or after the XML declaration when present. The end-tag of the root element is at the last entry of the file.

The root element keyword shall not be used for any other purposes in the XML file

A.1.4 Comments

Comments may be inserted into the file between "<!--" and "-->". An example is given below:

```
<!-- this line is a comment -->
```

Comments can be inserted anywhere in the file, except inside start- and end-tags, and written on a single line or on several lines. All text enclosed by comment brackets is considered as a comment and may be ignored.

A.1.5 Line terminations

In order to facilitate readability, it is usual to organize the file into lines. The line termination sequence shall be either a linefeed character or a carriage return character followed by a linefeed character.

A.1.6 Element hierarchy

The order of the elements is not important, but their hierarchy shall be respected. A layout example is shown below:

```
<Keyword1> ... </Keyword1>
<Keyword2>
  <Keyword21> ... </Keyword21>
  <Keyword22> ... </Keyword22>
</Keyword2>
<Keyword3> ... </Keyword3>
```

A.1.7 Element attributes

XML keyword elements can have attributes. Attributes provide additional information about elements that are not a part of the data. Attribute values shall always be quoted. Either single or double quotes can be used. Multiple attributes are either separated by a space or by a semi-colon (";") character. In contrast to elements, attributes usually cannot contain multiple values and tree structures, except for certain exceptions in the XML. An example of attribute definition is shown below:

```
<Parent Type="example"; Format="string"/>
```

In the above syntax *Type* and *Format* are attributes to the keyword *Parent*. The same terms can be defined as elements as shown below:

```
<Parent>
  <Type>example</Type>
  <Format>string</Format>
</Parent>
```

A.2 Keyword requirements

A.2.1 General

Keywords, placed in start- and end-tags, are used to introduce descriptions, values and sections that are specific to the file. Some keywords, such as Unit, List, etc, may be present in several sections. A parent keyword is required whenever a child keyword is present. The rules below ensure that the file can be correctly parsed by a specific XML parser.

A.2.2 Keyword characters

ASCII characters, as defined in ISO/IEC 646: 1991, shall be used in the files. The use of characters with codes greater than hexadecimal 07E is not allowed. Also, ASCII control characters (those numerically less than hexadecimal 20) are not allowed, except for tabs or in a line termination sequence.

Only alphabetical or numerical characters can be used to write keywords. Spaces are not permitted. If needed, the underscore "_" character can separate the parts of a multi-word keyword.

A.2.3 Keyword syntax

The content of the files is case sensitive. All keywords shall be written in lower case starting with an upper case letter.

A.2.4 File structure

A.2.4.1 General

The information to be exchanged may be stored in a single file or in several and data files. The following rules and guidelines ensure that the files can be correctly located by an XML parser.

A.2.4.2 File names

To facilitate portability between operating systems, file names should have a base name of no more than forty characters followed by a period ".", followed by a filename extension of no more than four characters. The file name and extension shall use characters from the set (space " ", 0x20 is not included) seen previously in A.1.2. File name shall be defined within the *Filename* keyword as shown below:

```
<Filename>ExampleXML_file.xml</Filename>
```

A.2.4.3 File Paths

In order to ensure portability and compressibility, only relative paths can be used to define a path name. An absolute path is not exportable and is not permitted. The relative path shall start with "./" to indicate that the path name of the file will be appended to the path of the current XML file. It is not permitted to browse to a higher level from the current XML path (e.g. by using "../"). A file name without "./" is assumed to be located in the same directory as the current XML file.

A.2.4.4 Single XML file

When the information is contained in a single XML file, it shall conform to the rules and guidelines applicable to XML files as described previously.

Data is included in the PDN or IB section of the file within the XML element using the keyword "List" whenever required.

A.2.4.5 Multiple XML files

The XML document is divided into several sections having the root element as parent. The model's information is then defined under the root section using keywords such as PDN, IB, etc. Each XML file may contain one or more sections and shall conform to the rules and guidelines applicable to XML files as described previously. A section shall be present in only one of the XML files.

In order to ensure portability and compressibility, all the XML files shall be placed in the same directory, as shown in Figure A.1. The XML parser shall parse all the files that are in the main directory.

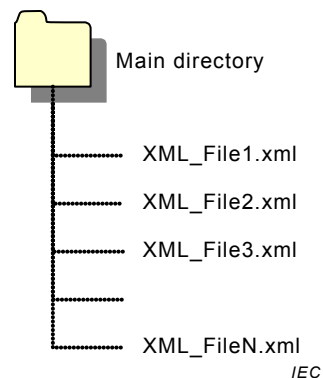
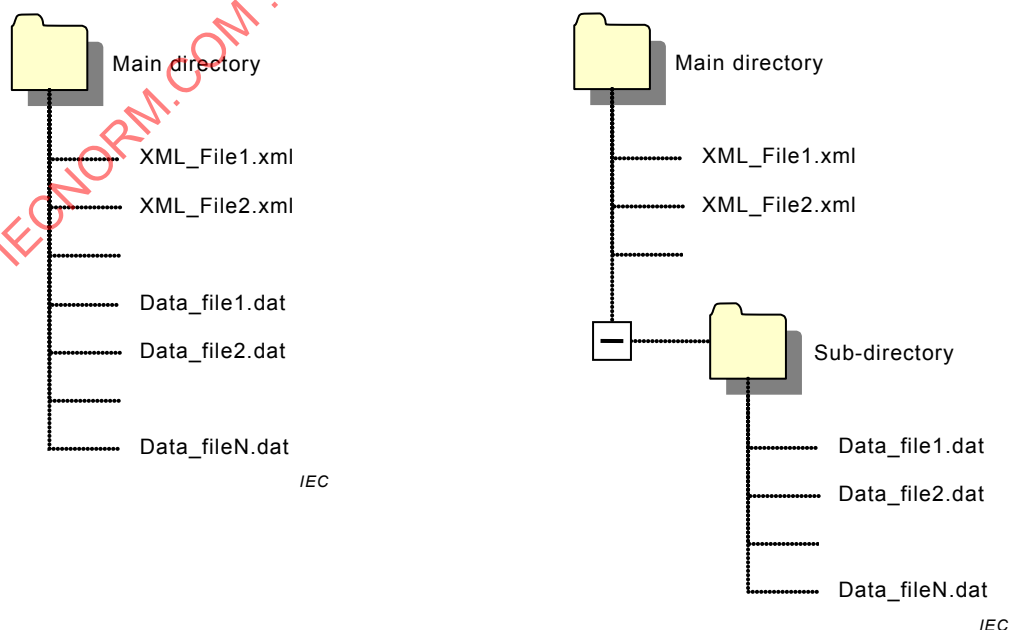


Figure A.1 – Multiple XML (CIML) files

A.2.4.6 Separate data files

The information may be contained in a single or in multiple XML files and the data contained in one or more additional data files. The XML files shall conform to the rules and guidelines applicable to XML files as described above. The data files can contain lines of data and header information shall be specified with explanation character ("!") as the first character of each header line (non-data line). As an exception, for data files with a touchstone extension (*.snp, n = 1,2,...) used for PDN definition, the line starting with a hash character("#") is treated as the "option line" that specifies data format and units pertaining to touchstone data. Only one "option line" is allowed per touchstone data file. The names and paths of the data files are defined by the keyword *Data_files* and shall conform to A.2.4.2 and A.2.4.3.

In order to ensure portability and compressibility, the data files shall be placed either in the same directory as the XML files or in a sub-directory located at the same level as the XML files or at a lower level, as shown in Figure A.2. It is not permitted to locate the additional files at a higher level than the XML files.



a) Data files in the same directory

b) Data files in a sub-directory

Figure A.2 – XML files with data files (*.dat)

A.2.4.7 Additional files

A XML file may contain references to other files such as document files (Keyword: *Documentation*). In order to ensure portability and compressibility, these additional files shall be placed either in the same directory as the single XML file or in a sub-directory located at the same level as the XML files or at a lower level, as shown in Figure A.3. It is not permitted to locate the additional files at a higher level than the XML files.

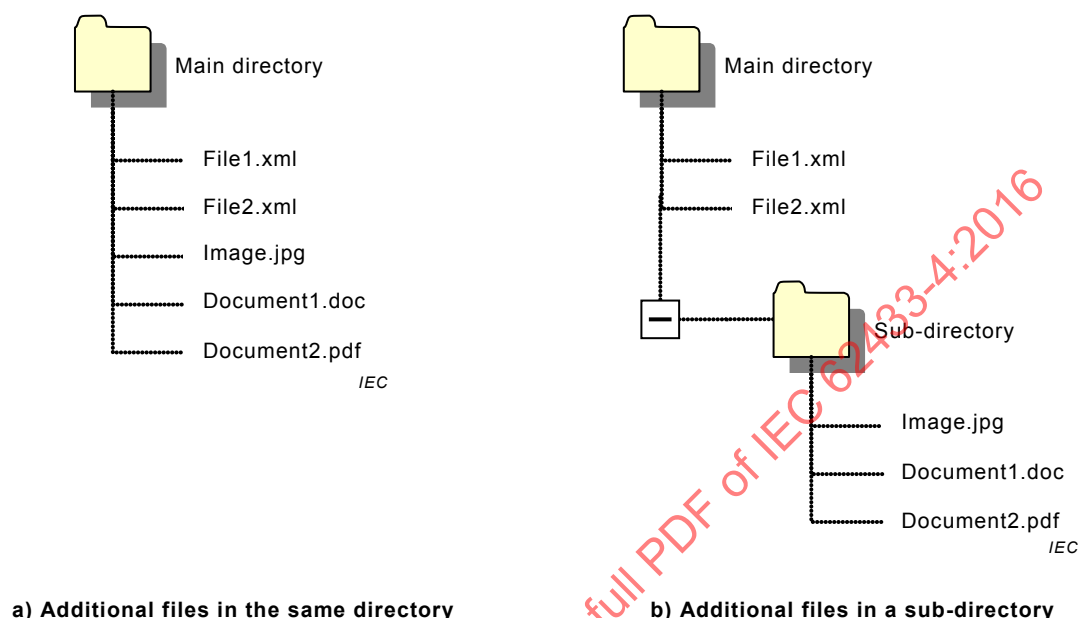


Figure A.3 – XML files with additional files

A.2.4.8 File compression

When compressing the file system, care shall be taken to include the paths of the various XML and data files in the compressed file. This ensures that, when decompressed, the file structure is conserved. The paths are not required when all files are stored in the same directory.

A.2.5 Values

A.2.5.1 General

When an element contains a value, this may be a numerical value (e.g. 123,45), or a numerical value with units (e.g. 123,45 MHz).

A.2.5.2 Numerical syntax

Numerical values may be expressed in decimal form with the period as the decimal separator (e.g. 123.45) or in scientific form (e.g. 1.2345e2). Spaces " " and commas ",", which are often used as thousand separators, and other characters are not allowed.

In cases where several numerical values are required, they shall be separated by spaces " " or tab characters.

A.2.5.3 Numerical with units syntax

The numerical value (see A.2.5.2) is followed by valid units, as described in A.2.5.5 (e.g. 123,45 MHz). Spaces are not allowed between the numerical value and the units.

A.2.5.4 Text string

A text string may represent a word recognized by the XML parser or it may be a file name, a description, etc. A text string may contain any of the alphanumerical characters given in A.1.2.

A.2.5.5 Valid units

Units shall be expressed in SI units or derived SI units. Valid units are:

V for volt	ohm for ohm	S for siemens =1/ohm
A for ampere	Hz for hertz	m for metre
W for watt	s for second	H for henry
F for farad	ohm.m for ohm metre	Celsius for degree Celsius
K for kelvin	1 for dimensionless quantity	

Units are case sensitive.

Angles are expressed in degrees. The symbol "°" is not required. Percentage is expressed as "%".

Valid scaling factors are:

T = tera: 10^{12}	c = centi: 10^{-2}	p = pico: 10^{-12}
G = giga: 10^9	m = milli: 10^{-3}	f = femto: 10^{-15}
M = mega: 10^6	u = micro: 10^{-6}	a = atto: 10^{-18}
k = kilo: 10^3	n = nano: 10^{-9}	

When no scaling factors are specified, the appropriate base units are assumed. These are volts, amperes, watts, ohms, siemens, hertz, metres, seconds, henry, farads, ohm.m, Celsius and kelvin. Abbreviations for the units (for example, pV, nA, ms, MHz) shall be used, except ohm, Celsius and resistivity, which shall be written in full. A list of valid logarithmic units is given in Table A.1.

Table A.1 – Valid logarithmic units

Usage	Symbol	Unit	Reference
Ratio	dB	decibel	1
Power	dBW	decibel watt	1W
Power	dBmW	decibel milli-watt	1mW
Power	dBuW	decibel micro-watt	1μW
Voltage	dBV	decibel volt	1V
Voltage	dBmV	decibel milli-volt	1mV
Voltage	dBuV	decibel micro-volt	1μV
Ampere	dBA	decibel ampere	1A
Ampere	dBmA	decibel milli-ampere	1mA
Ampere	dBuA	decibel micro-ampere	1μA
Impedance	dBohm	decibel ohm	1ohm
Admittance	dBs	decibel siemens	1S

Unit definitions can be made in any section and with the *Unit* keyword. A typical unit description is shown below:

```
<Unit>  
    kHz  
</Unit>
```

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62433-4:2016

Annex B (informative)

ICIM-CI example with disturbance load

Figure B.1 shows an example of DPI setup for extracting the IB data of an oscillator. The DI is the supply line (V_{CC}) and the OO is the jitter of the clock output.

The DO1 is the input of the IC where the C_{x1} capacitor is connected. The DO2 is the output of the IC where the C_{x2} is connected. Both of them receive a part of the jitter applied on the DI and they can influence the jitter level. The OO is where the jitter is monitored.

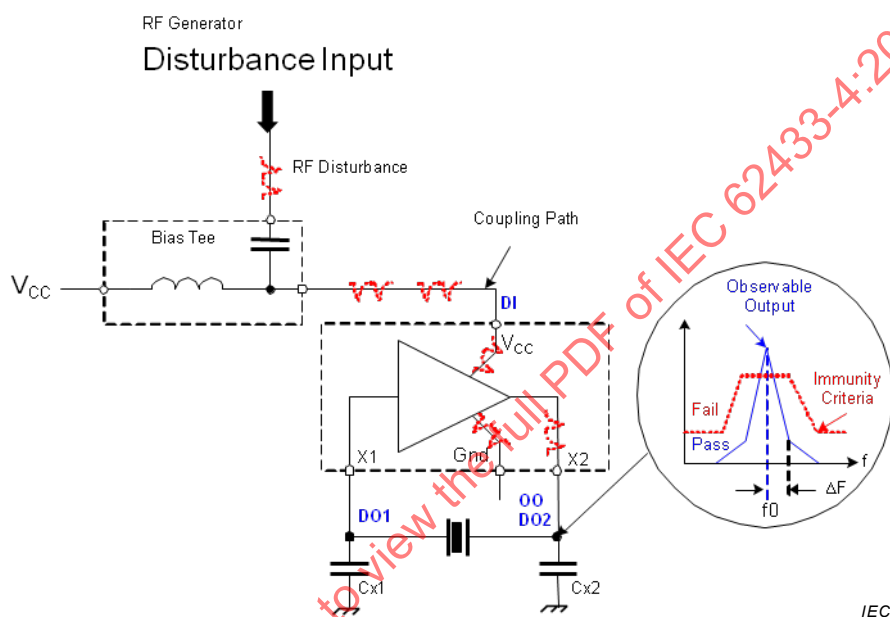


Figure B.1 – ICIM-CI description applied to an oscillator stage for extracting IB

Annex C (informative)

Conversions between parameter types

C.1 General

As described in Clause 5, the power transmitted into a DI shall be determined from the forward power and the impedance. Obtaining this quantity is straightforward when the impedance of the DI is characterized by S -parameters, whereas conversion of the parameters is required when Z - or Y -parameters are used. This conversion also depends on whether the input or output is single-ended or differential.

C.2 Single-ended input or output

The configuration for a single-ended DI, is shown in Figure C.1

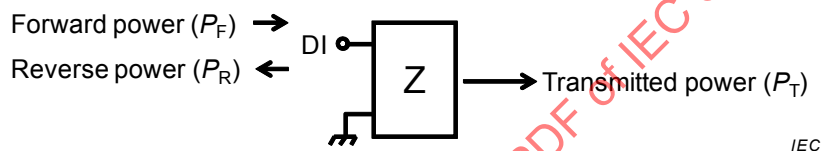


Figure C.1 – Single-ended DI

The single-ended DI is considered to be a one-port network. In this case, the relationship between the transmitted power (P_T) and the forward power (P_F) is given by:

- S -parameters

$$P_T = P_F (1 - |S_{11}|^2)$$

- Z -parameters

$$P_T = P_F \left(1 - \left| \frac{Z_{11} - Z_0}{Z_{11} + Z_0} \right|^2 \right)$$

- Y -parameters

$$P_T = P_F \left(1 - \left| \frac{Y_0 - Y_{11}}{Y_0 + Y_{11}} \right|^2 \right)$$

In the above equations, S_{11} , Z_{11} and Y_{11} are complex values.

Table C.1 shows the relationships to convert between S_{11} , Z_{11} and Y_{11} for a one-port network.

Table C.1 – Single-ended parameter conversion

		To		
		S-parameters	Z-parameters	Y-parameters
From	S-parameters		$Z_{11} = Z_0 \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}}$	$Y_{11} = Y_0 \frac{1-S_{11}}{1+S_{11}}$
	Z-parameters	$S_{11} = \frac{Z_{11}-Z_0}{Z_{11}+Z_0}$		$Y_{11} = \frac{1}{Z_{11}}$
	Y-parameters	$S_{11} = \frac{Y_0-Y_{11}}{Y_0+Y_{11}}$	$Z_{11} = \frac{1}{Y_{11}}$	

Z_0 is the characteristic impedance and Y_0 is the characteristic admittance used as the reference for the S -parameters (Z_0 is typically 50 Ω).

C.3 Differential input or output

The configuration for a differential DI is shown in Figure C.2.

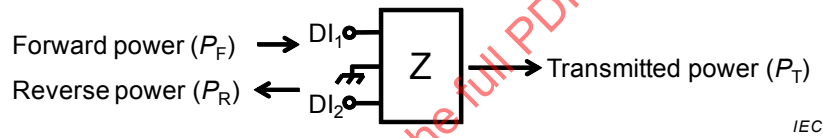


Figure C.2 – Differential DI

A differential DI is considered to be a two-port network as shown in Figure C.3.

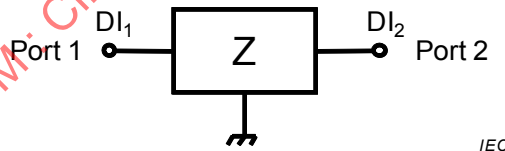


Figure C.3 – Two-port representation of a differential DI

The differential DI can be described by two-port S -parameters, two-port Z -parameters or two-port Y -parameters. These may be obtained either by measurements using a two-port vector network analyzer or by voltage and current measurements at the two ports. The resulting parameter file may then be used for simulation.

Table C.2 shows the relationships between S -, Z - and Y -parameters for a two-port network [3].

Table C.2 – Differential parameter conversion

		To		
		S-parameters	Z-parameters	Y-parameters
From	S-parameters		$Z_{11} = Z_0 \frac{(1+S_{11})(1-S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Z_{12} = Z_0 \frac{2S_{12}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Z_{21} = Z_0 \frac{2S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Z_{22} = Z_0 \frac{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$	$Y_{11} = Y_0 \frac{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Y_{12} = Y_0 \frac{-2S_{12}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Y_{21} = Y_0 \frac{-2S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Y_{22} = Y_0 \frac{(1+S_{11})(1-S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$
	Z-parameters	$S_{11} = \frac{(Z_{11}-Z_0)(Z_{22}+Z_0)-Z_{12}Z_{21}}{(Z_{11}+Z_0)(Z_{22}+Z_0)-Z_{12}Z_{21}}$ $S_{12} = \frac{2Z_0Z_{12}}{(Z_{11}+Z_0)(Z_{22}+Z_0)-Z_{12}Z_{21}}$ $S_{21} = \frac{2Z_0Z_{21}}{(Z_{11}+Z_0)(Z_{22}+Z_0)-Z_{12}Z_{21}}$ $S_{22} = \frac{(Z_{11}+Z_0)(Z_{22}-Z_0)-Z_{12}Z_{21}}{(Z_{11}+Z_0)(Z_{22}+Z_0)-Z_{12}Z_{21}}$		$Y_{11} = \frac{Z_{22}}{Z_{11}Z_{22}-Z_{12}Z_{21}}$ $Y_{12} = \frac{-Z_{12}}{Z_{11}Z_{22}-Z_{12}Z_{21}}$ $Y_{21} = \frac{-Z_{11}}{Z_{11}Z_{22}-Z_{12}Z_{21}}$ $Y_{22} = \frac{Z_{11}}{Z_{11}Z_{22}-Z_{12}Z_{21}}$
	Y-parameters	$S_{11} = \frac{(Y_0-Y_{11})(Y_0+Y_{22})+Y_{12}Y_{21}}{(Y_0+Y_{11})(Y_0+Y_{22})-Y_{12}Y_{21}}$ $S_{12} = \frac{-2Y_0Y_{12}}{(Y_0+Y_{11})(Y_0+Y_{22})-Y_{12}Y_{21}}$ $S_{21} = \frac{-2Y_0Y_{21}}{(Y_0+Y_{11})(Y_0+Y_{22})-Y_{12}Y_{21}}$ $S_{22} = \frac{(Y_0+Y_{11})(Y_0-Y_{22})+Y_{12}Y_{21}}{(Y_0+Y_{11})(Y_0+Y_{22})-Y_{12}Y_{21}}$	$Z_{11} = \frac{Y_{22}}{Y_{11}Y_{22}-Y_{12}Y_{21}}$ $Z_{12} = \frac{-Y_{12}}{Y_{11}Y_{22}-Y_{12}Y_{21}}$ $Z_{21} = \frac{-Y_{21}}{Y_{11}Y_{22}-Y_{12}Y_{21}}$ $Z_{22} = \frac{Y_{11}}{Y_{11}Y_{22}-Y_{12}Y_{21}}$	

Z_0 is the characteristic impedance and Y_0 is the characteristic admittance used as the reference for the S-parameters (Z_0 is typically 50 Ω).

It is possible to deduce common-mode and differential-mode parameters from the two-port parameters. Common-mode parameters consider that the two ports (DI₁ and DI₂) are connected together directly without any additional components. However, their use is not suited to immunity simulations based on, for example, DPI measurements according to IEC 62132-4. In this case the disturbing signal is fed from a single signal generator to each DI via a coupling network, typically a coupling capacitor. This capacitor, as well as any other passive components, PCB tracks, etc., shall be included in the simulation as shown in Figure C.4.

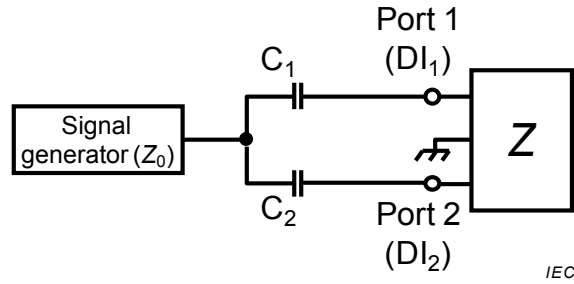


Figure C.4 – Simulation of common-mode injection on a differential DI based on DPI

In the case where the coupling networks are considered to have a negligible effect on the signals (loss and mismatching), the two DIs can be considered to be directly connected together. The equivalent common-mode impedance (Z_E) of the two DIs connected together is shown in Figure C.5 and is given by:

$$Z_E = \frac{Z_{11} Z_{22} - Z_{12} Z_{21}}{Z_{11} - Z_{12} - Z_{21} + Z_{22}}$$

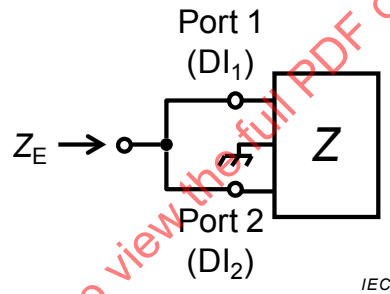


Figure C.5 – Equivalent common-mode input impedance of a differential DI

The transmitted power can then be calculated using the method described above for a single-ended DI, replacing Z_{11} by Z_E .

Other parameters can be used with the conversions given in Tables C.2 and C.3.

In the case where the coupling network is lossy or introduces a significant mismatch, the contribution to the transmitted power of each DI and its associated coupling network shall be determined. This can be carried out by simulation when the coupling networks have been suitably modelled (discrete RLC or file-based). A typical simulation setup using a file-based two-port element is shown in Figure C.6. The currents I_1 and I_2 and the voltages V_1 and V_2 have complex values.

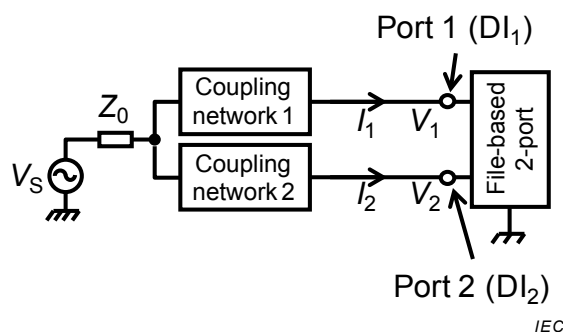


Figure C.6 – Determination of transmitted power for a differential DI

The total transmitted power P_T is the sum of the transmitted powers at each DI given by the complex conjugate product of the voltage and current (both are peak and complex values):

$$P_T = P_{T1} + P_{T2}$$

where

$$P_{T1} = \frac{\operatorname{Re}[V_1 I_1^*]}{2}$$

$$P_{T2} = \frac{\operatorname{Re}[V_2 I_2^*]}{2}$$

Therefore,

$$P_T = \frac{\operatorname{Re}[V_1 I_1^*]}{2} + \frac{\operatorname{Re}[V_2 I_2^*]}{2}$$

Table C.3 shows other possible formulations for the calculation of power.

Table C.3 – Power calculation

Scalar product	$P = \frac{V \times I}{2} = \frac{ V I \cos \varphi}{2}$
Conjugate product	$P = \frac{\operatorname{Re}[V I^*]}{2} = \frac{\operatorname{Re}[V^* I]}{2}$
Sum of conjugate products	$P = \frac{V I^* + V^* I}{4}$

NOTE The power is always the absolute value of P . V and I are peak values.

The corresponding forward power at the summing point P_F is

$$P_F = \frac{V_S}{8Z_0}$$

The forward and transmitted powers can then be scaled as required.

Annex D (informative)

Example of ICIM-CI macro-model in CIML format

An example ICIM-CI macro-model of a LIN transceiver is illustrated. The test setup is shown in Figure D.1.

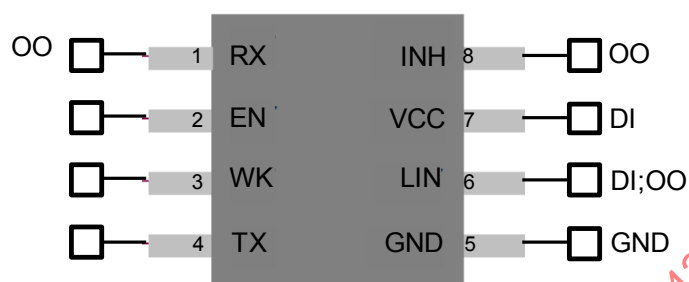


Figure D.1 – Test setup on an example LIN transceiver

The leads VCC and LIN are the DI points and the leads RX, INH and LIN are monitored (OO pins). The PDN of the VCC and LIN pins with respect to the ground (GND) are extracted using conventional two-port *S*-parameter measurements using a power level of –10 dBm. The data is stored in touchstone format (s2p file). Standard pass/fail test is carried out on all OO leads with the following test conditions:

- LIN: $\pm 2,5$ V on amplitude and ± 5 μ s on time
- RX: ± 1 V on amplitude and ± 5 μ s on time
- INH: ± 2 V on amplitude

The DPI test is carried out in the frequency band from 1 MHz to 1 GHz, with a maximum power level of 35 dBm.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<!-- root element -->
<CImodel>
  <!-- Header section -->
  <Header>
    <Cim_ver>1.0</Cim_ver>
    <Filename>ExampleICIMCI_LINTRCV.ciml</Filename>
    <File_ver>1.0</File_ver>
    <Author>AR,JLL</Author>
    <Dut>LINTRCV</Dut>
    <Date>March 1, 2013</Date>
    <Meas_method>DPI for IB,S for PDN</Meas_method>
  </Header>
  <!-- Lead definitions section -->
  <Lead_definitions>
    <Lead Id="1" Name="RX" Mode="OO"/>
    <Lead Id="2" Name="EN" Mode="None"/>
    <Lead Id="3" Name="WK" Mode="None"/>
    <Lead Id="4" Name="TX" Mode="None"/>
    <Lead Id="5" Name="GND" Mode="GND"/>
    <Lead Id="6" Name="LIN" Mode="DI,OO"/>
    <Lead Id="7" Name="VCC" Mode="DI"/>
    <Lead Id="8" Name="INH" Mode="OO"/>
  </Lead_definitions>
</CImodel>
```

```

<!-- Validity section -->
<Validity>
    <Power_supply>12V</Power_supply>
    <Frequency_range>[1MHz - 1GHz]</Frequency_range>
    <Temperature_range>25Celsius</Temperature_range>
    <Notes>WK pin not used</Notes>
</Validity>

<!-- Pdn section -->
<Pdn>
    <!-- PDN of VCC lead, lead 7 and lead 6 -->
    <Lead Id="7,6" Ground_id="5" Meas_type="0">
        <Data_files>
            LINTRCV_VCC_LIN_PDN_S11.s2p
        </Data_files>
    </Lead>
</Pdn>

<!-- Ib section -->
<Ib>
    <!-- IB with injection on VCC lead, id=7 -->
    <Lead Id="7" Ground_id="5" Type="DPI">
        <Max_power_level Value="35dBm"/>
        <!-- Pt section with RX pin id=1 monitoring -->
        <Power Param_order ="Freq,Power" Format="DBMAG">
            <Test_criteria Id="1" Type="PF" Level="+1,-1V"
                Parameter="Amplitude"/>
            <Test_criteria Id="2" Type="PF" Level="+5us,-5us"
                Parameter="Time"/>
            <Unit_power>dBm</Unit_power>
            <Data_files>
                Pt_injVCC_monRX.txt
            </Data_files>
        </Power>
        <!-- Pt section with LIN pin id=6 monitoring -->
        <Power Param_order ="Freq,Power" Format="DBMAG">
            <Test_criteria Id="6" Type="PF" Level="+2.5,-2.5V"
                Parameter="Amplitude"/>
            <Test_criteria Id="6" Type="PF" Level="+5us,-5us"
                Parameter="Time"/>
            <Unit_power>dBm</Unit_power>
            <Data_files>
                Pt_injVCC_monLIN.txt
            </Data_files>
        </Power>
        <!-- Pt section with INH pin id=8 monitoring -->
        <Power Param_order ="Freq,Power" Format="DBMAG">
            <Test_criteria Id="8" Type="PF" Level="+2,-2V"
                Parameter="Amplitude"/>
            <Unit_power>dBm</Unit_power>
            <Data_files>
                Pt_inVCC_monINH.txt
            </Data_files>
        </Power>
    </Lead>
    <!-- IB with injection on LIN lead, id=6 -->
    <Lead Id="6" Ground_id="5" Type="DPI">
        <Max_power_level Value="35dBm"/>
        <!-- Pt section with RX pin id=1 monitoring -->

```

```

<Power Param_order ="Freq,Power" Format="DBMAG">
  <Test_criteria Id="1" Type="PF" Level="+1,-1V"
    Parameter="Amplitude"/>
  <Test_criteria Id="1" Type="PF" Level="+5us,-5us"
    Parameter="Time"/>
  <Unit_power>dBm</Unit_power>
  <Data_files>
    Pt_injLIN_monRX.txt
  </Data_files>
</Power>
<!-- Pt section with LIN pin id=6 monitoring -->
<Power Param_order ="Freq,Power" Format="DBMAG">
  <Test_criteria Id="6" Type="PF" Level="+2.5,-2.5V"
    Parameter="Amplitude"/>
  <Test_criteria Id="6" Type="PF" Level="+5us,-5us"
    Parameter="Time"/>
  <Unit_power>dBm</Unit_power>
  <Data_files>
    Pt_injLIN_monLIN.txt
  </Data_files>
</Power>
<!-- Pt section with INH pin id=8 monitoring -->
<Power Param_order ="Freq,Power" Format="DBMAG">
  <Test_criteria Id="8" Type="PF" Level="+2,-2V"
    Parameter="Amplitude"/>
  <Unit_power>dBm</Unit_power>
  <Data_files>
    Pt_injLIN_monINH.txt
  </Data_files>
</Power>
</Lead>
</Ib>
</CImodel>

```

The S-parameter file (s2p) of the PDN of leads 6 (LIN) and 7 (VCC) with respect to lead 5 (GND) is shown in Figure D.2. The data are plotted in Figure D.3.

```

!Agilent Technologies,E5071C,MY46100659,1.07.02
!Date: Sat Mar 02 18:32:12 2013
!Data & Calibration Information:
!Freq S11:SOLT2 (ON)      S21:SOLT2 (ON)      S12:SOLT2 (ON)      S22:SOLT2 (ON)
!Power level = -10dBm
# Hz S RI R 50
1000000 9.088826e-001 2.175112e-001 4.959825e-004 6.047383e-004 6.574008e-004 4.707964e-004 9.970238e-001 -1.280453e-002
1005883 9.100319e-001 2.160977e-001 3.667523e-004 4.291529e-004 4.692485e-004 5.038933e-004 9.965288e-001 -1.213697e-002
1011765 9.110942e-001 2.149672e-001 5.001453e-004 4.813022e-004 5.115158e-004 4.671811e-004 9.963682e-001 -1.206233e-002
1017648 9.118667e-001 2.136258e-001 5.186386e-004 4.979755e-004 4.097934e-004 5.014781e-004 9.962916e-001 -1.233104e-002
1023530 9.126281e-001 2.121370e-001 4.007370e-004 4.883603e-004 4.595826e-004 4.363021e-004 9.961206e-001 -1.215509e-002
1029413 9.139750e-001 2.106546e-001 5.138685e-004 5.250810e-004 4.561012e-004 5.159894e-004 9.959874e-001 -1.183065e-002
1035296 9.157162e-001 2.090587e-001 5.119438e-004 3.894194e-004 5.101221e-004 5.492821e-004 9.958518e-001 -1.179400e-002
1041178 9.144078e-001 2.082734e-001 4.905224e-004 4.767893e-004 3.994730e-004 4.847313e-004 9.958518e-001 -1.173345e-002
1047061 9.151246e-001 2.070623e-001 4.589706e-004 4.264606e-004 5.030998e-004 3.821316e-004 9.958136e-001 -1.195698e-002
1052943 9.160557e-001 2.053582e-001 4.300851e-004 4.108949e-004 5.804027e-004 4.982899e-004 9.953038e-001 -1.160832e-002
1058826 9.166562e-001 2.041133e-001 4.445418e-004 5.454105e-004 4.359303e-004 4.643183e-004 9.956318e-001 -1.149447e-002
1064708 9.173392e-001 2.024838e-001 4.862480e-004 4.914565e-004 4.025683e-004 3.986934e-004 9.954431e-001 -1.174637e-002
1070591 9.179662e-001 2.013367e-001 5.705889e-004 4.615389e-004 4.437831e-004 4.206510e-004 9.954250e-001 -1.153634e-002
1076474 9.187746e-001 2.007750e-001 4.743255e-004 4.577823e-004 4.815595e-004 4.542247e-004 9.953506e-001 -1.164343e-002
1082356 9.197041e-001 1.991275e-001 4.467896e-004 4.437902e-004 5.396881e-004 4.823456e-004 9.949610e-001 -1.182305e-002
1088239 9.199772e-001 1.981008e-001 5.117492e-004 4.715610e-004 5.386433e-004 5.815802e-004 9.952103e-001 -1.154153e-002
1094121 9.202774e-001 1.968339e-001 4.872734e-004 5.007612e-004 4.675922e-004 4.311077e-004 9.949859e-001 -1.161092e-002
1100004 9.214074e-001 1.959012e-001 4.741500e-004 3.814384e-004 5.041462e-004 5.543353e-004 9.952264e-001 -1.154271e-002
1105887 9.217450e-001 1.943473e-001 4.086109e-004 4.633820e-004 4.056057e-004 4.609901e-004 9.949360e-001 -1.147551e-002
...

```

IEC

Figure D.2 – PDN data in touchstone format (s2p), data measured using VNA

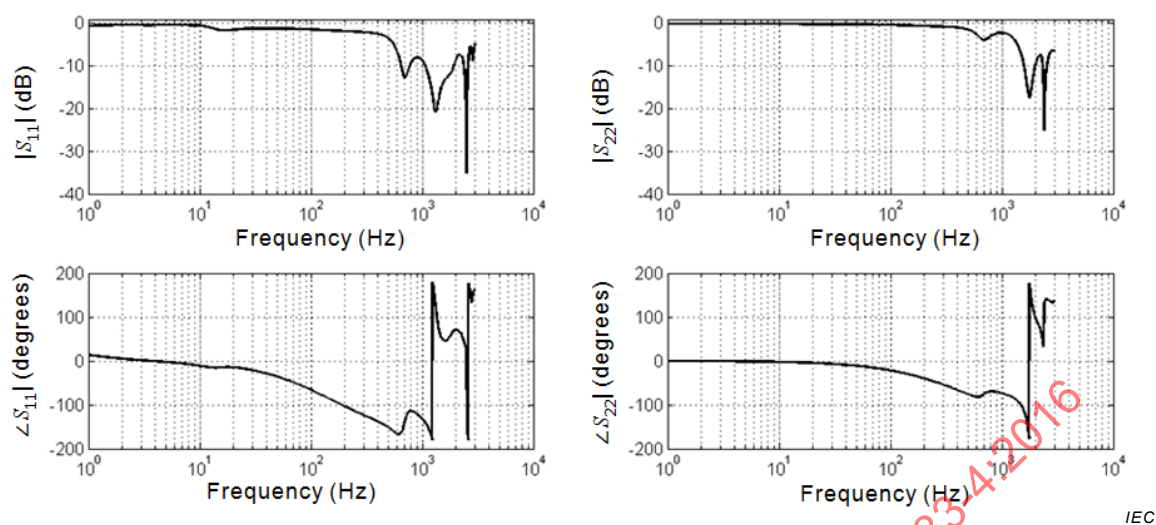


Figure D.3 – PDN data of leads 6 (LIN) and 7 (VCC)

The measured IB data for injection on VCC pin (lead 7), for different OO pins that are monitored, are shown in Figure D.4 and the traces are plotted in Figure D.5.

!f (Hz)	Pt (W)	!f (Hz)	Pt (W)	!f (Hz)	Pt (W)
!Monitoring on RX		!Monitoring on LIN		!Monitoring on INH	
1000000	0.1210474359	1000000	0.01210474359	1000000	0.1523896931
2000000	0.004227117987	2000000	0.004227117987	2000000	0.04227117987
3000000	0.002897663639	3000000	0.002897663639	3000000	0.0364794239
4000000	0.002649712504	4000000	0.002649712504	4000000	0.02649712504
5000000	0.00250762503	5000000	0.00250762503	5000000	0.0250762503
6000000	0.002345954784	6000000	0.002345954784	6000000	0.02345954784
7000000	0.002308431188	7000000	0.002308431188	7000000	0.02308431188
8000000	0.002346253032	8000000	0.002346253032	8000000	0.02346253032
9000000	0.002633505446	9000000	0.002633505446	9000000	0.04173824853
10000000	0.00246788178	10000000	0.00246788178	10000000	0.03106879086
15000000	0.008718441842	15000000	0.008718441842	15000000	0.1739557845
20000000	0.01087608427	20000000	0.01087608427	20000000	0.2170064108
25000000	0.007527113401	25000000	0.007527113401	25000000	0.1501856571
30000000	0.007196132914	30000000	0.007196132914	30000000	0.1140510207
35000000	0.007041186572	35000000	0.007041186572	35000000	0.1115952866
40000000	0.006978506095	40000000	0.006978506095	40000000	0.1392395023
45000000	0.007011565952	45000000	0.007011565952	45000000	0.1398991331
50000000	0.009056521981	50000000	0.009056521981	50000000	0.1435362003
...		...		...	

Figure D.4 – IB data in ASCII format (.txt), data measured using DPI method – Injection on VCC pin

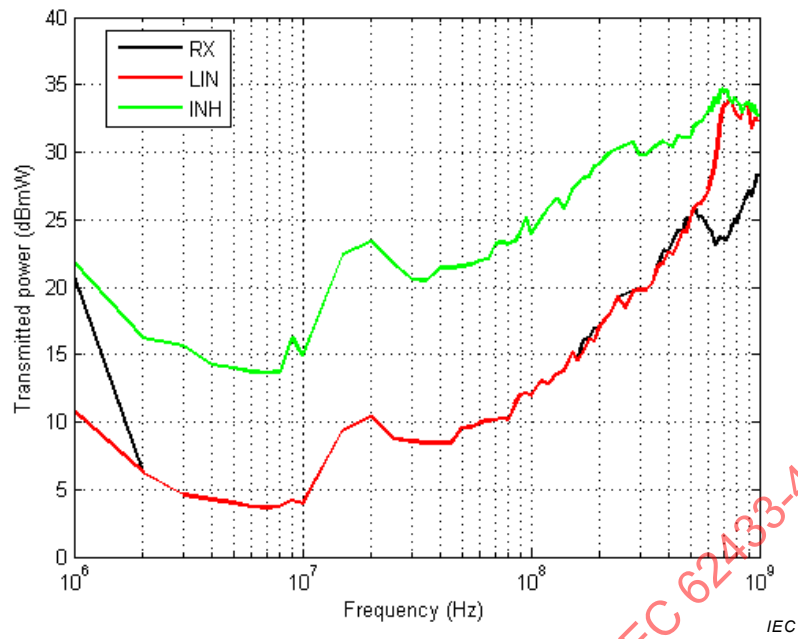


Figure D.5 – IB data for injection on VCC pin

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62433-4:2016

Annex E (normative)

CIML Valid keywords and usage

E.1 Root element keywords

The keywords shown in Table E.1 are placed at the beginning of the file after the XML definition.

Table E.1 – Root element keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Header	Root element	Specifies a header section.	Required	<Header> ... </Header>
Lead_definitions	Root element	Specifies a lead definitions section. The details defined in this section are used for in all other sections.	Required	<Lead_definitions> ... </Lead_definitions >
Validity	Root element	Specifies the validity section. The details defined in this section are global to all other sections.	Required	<Validity> ... </Validity>
Macromodels	Root element	Specifies a SPICE macro-models section. The details defined in this section can be used in the Pdn section.	Required	<Macromodels> ... </Macromodels>
Pdn	Root element	Specifies the PDN data.	Required	<Pdn> ... </Pdn>
Ib	Root element	Specifies the IB data.	Required	<Ib> ... </Ib>

E.2 File header keywords

The keywords shown in Table E.2 are placed at the beginning of the file after the root element start-tag.

Table E.2 – Header section keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Cim_ver	Header element	Specifies the version of file format (1.0). Should follow the header element. Informs parsers of the version of XML exchange format used and allows them to know what keywords to expect.	Required	<Cim_ver>1.0</Cim_ver>
Filename	Header element	Specifies the file name. Normally follows the keyword: Cim_ver.	Required	<Filename> My_file.xml </Filename>
File_ver	Header element	Tracks the revision level of a particular .xml file. Revision level is set at the discretion of the originator of the file.	Required	<File_ver>1.0</File_ver>
Date	Header element	The value can contain blanks, be of any format, but should be limited to a maximum of 20 characters. The month should be spelled out for clarity. The parser considers this information as a data string and does not interpret it.	Optional	<Date> January 1, 2013 </Date>
Author	Header element	The value can contain blanks and be of any format. The parser considers this information as a data string and does not interpret it.	Optional	<Author> Name 1 Name2 </Author>
Dut	Header element	The value can contain blanks and be of any format. The parser considers this information as a data string and does not interpret it.	Optional	<Dut> 32-bit microcontroller </Dut>
Meas_method	Header element	The value can contain blanks and be of any format. The parser considers this information as a data string and does not interpret it.	Optional	<Meas_method> DPI method </Meas_method>
Disclaimer	Header element	The value can contain blanks and be of any format. The parser considers this information as a data string and does not interpret it.	Optional	<Disclaimer> This file contains results of DPI. Other use is not guaranteed </Disclaimer>
Copyright	Header element	The value can contain blanks and be of any format. The parser considers this information as a data string and does not interpret it.	Optional	<Copyright> Copyright 2013, XYZ Corp., All Rights Reserved </Copyright>

E.3 **Validity section keywords**

The keywords shown in Table E.3 are placed in the root element start-tag.

Table E.3 – Validity section keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Power_supply	Validity element	Specifies the power supply conditions in which ICIM-CI macro-model is extracted and defined. Should follow the validity element. Informs the user of the ICIM-CI validity criteria. A valid numerical value with units is allowed. See A.2.5.3 for more information.	Required	<pre><Power_supply> 9V </Power_supply></pre>
Frequency_range	Validity element	Specifies the valid frequency range in which ICIM-CI macro-model is extracted and defined. Should follow the validity element. Informs the user of the ICIM-CI validity criteria. A valid numerical value with units is allowed. See A.2.5.3 for more information.	Required	<pre><Frequency_range> [10kHz-100MHz] </Frequency_range></pre>
Temperature_range	Validity element	Specifies the valid temperature range in which ICIM-CI macro-model is extracted and defined. Should follow the validity element. Informs the user of the ICIM-CI validity criteria. A valid numerical value with units is allowed. See A.2.5.3 for more information.	Required	<pre><Temperature_range> 25Celsius </Temperature_range></pre>

E.4 **Global keywords**

The keywords shown in Table E.4 may be placed anywhere in the file, except within an XML element containing a value.

Table E.4 – Global keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Notes	Any element except those containing a value.	Optionally adds information about the setup, data, etc. The value can contain blanks, and be of any format. A notes section can be inserted anywhere in the file and the number of notes sections in the file is not limited. The parser considers this information as a data string and it does not interpret it.	Optional	<Notes> Use this section for any special notes </Notes>
Documentation	Any element except those containing a value.	Optionally adds the paths to files containing documentation on the project.	Optional	<Documentation> Project doc.pdf Model_descr.doc </Documentation>
Unit	Any element except those containing a value.	Specifies the units of the respective quantity or element.	Optional	<Unit>mm</Unit>

E.5 Lead keyword

The keywords shown in Table E.5 may be placed in the *Lead_definitions*, *Pdn* and *lb* sections as the parent element.

Table E.5 – Lead element definition

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Lead	Any element: Lead_definitions, Pdn and lb	Specifies the Lead element. The accepted attributes could vary from section to section.	Required	<Lead> ... </Lead>

E.6 Lead_definitions section attributes

The *Lead* keyword in the *Lead_definitions* section has the following valid attributes (see Table E.6):

Table E.6 – *Lead_definitions* section keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Id	Lead element	Specifies the identity or number of the Lead element. Only one value is allowed.	Required	<Lead Id="1"> ... </Lead>
Name	Lead element	Specifies the name of the lead element. Can be any valid string.	Optional	<Lead Id="1" Name="VCC"> ... </Lead>
Mode	Lead element	Specifies the mode in which a particular pin is used: DI, DO, OO, GND. Multiple modes are separated by a "," character.	Optional	<Lead Id="1" Name="VCC" Mode="DI"> ... </Lead>
Type	Lead element	Specifies the type in which a particular pin is used: internal, external.	Optional	<Lead Id="1" Name="VCC" Mode="DI" Type="external"> ... </Lead>

E.7 *Macromodels* section attributes

The *Subckt* keyword in the *Macromodels* section has the following valid attributes (see Table E.7):

Table E.7 – *Macromodels* section keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Name	Subckt element	Specifies the name of the SPICE like macro-model.	Required	<Subckt Name="MD1" ...> ... </Subckt>
Nodes	Subckt element	Specifies the external nodes of the SPICE like macro-model through which the sub-circuit connects to the main circuit.	Required	<Subckt Name="MD1" Nodes="N1,N2,N3"> ... </Subckt>
Kind	Subckt element	Specifies the kind of netlist used for defining the SPICE like sub-circuit. See 6.6 for more information.	Optional	< Subckt Name="MD1" Nodes="N1,N2,N3" Kind="SPICE3"> ... </Subckt>
Data_files	Subckt element	Specifies the path names of the files containing a sub-circuit netlist. The path names are separated by a space character (" ") or a line termination. The file names and paths shall conform to A.2.4.2 and A.2.4.3.	Optional	< Subckt Kind="SPICE3"> ... <Data_files> PDN_Pin1_macro.lib </Data_files> ... </Subckt>

E.8 Pdn section keywords

E.8.1 Lead element keywords

The PDN data of each tested lead are defined within the *Lead* tag. The *Lead* keyword in the *Pdn* section has the following valid attributes (see Table E.8):

Table E.8 – Lead element keywords in the Pdn section

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Id	Lead element	Specifies the identity or number of the Lead element. One or many Ids are allowed for differentiating between single, differential or multi-ended pins. For differential or multi-ended pins, Ids shall be separated by a "," character.	Required	<pre><Lead Id="1"...> ... </Lead> <Lead Id="1,2,3"...> ... </Lead></pre>
Ground_id	Lead element	Specifies the identity or number of the return signal lead. Only one id is allowed.	Required for Type="S" or "Z" or "Y"	<pre><Lead Id="1" Ground_id="7" ...> ... </Lead> <Lead Id="1,2,3" Ground_id="7" ...> ... </Lead></pre>
Blockname	Lead element	Specifies the name of the PDN block.	Optional	<pre><Blockname> Block1_PDN </Blockname></pre>
Type	Lead element	Specifies the type of PDN data: "S" for S-parameters, "Z" for Z-parameters, "Y" for Y-parameters, "Ckt" for circuit definition. See 6.8.2.4.	Optional	<pre><Lead Id="1" Type="Z"> ... </Lead></pre>
Param_order	Lead element	Specifies the order in which the PDN parameters are defined. See 6.8.2.5 for detailed information. Undefined if using Data_files in touchstone format and netlist based PDN description.	Optional Undefined if Type="Ckt"	<pre><Lead Id="1" Type="Z" Param_order="Freq,Z11"> ... </Lead></pre>
Format	Lead element	Specifies the PDN data format. See 6.8.2.6. Undefined if using Data_files in touchstone format and netlist based PDN description.	Optional	<pre><Lead Id="1" Type="Z" Param_order="Freq,Z11" Format="MA"> ... </Lead></pre>

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Meas_type	Lead element	Specifies the method implemented for performing PDN measurements. See 6.8.2.7 and 7.3.2. Undefined if using netlist for describing the PDN.	Optional	<pre><Lead Id="1" Type="S" Param_order="Freq,S21" Format="MA" Meas_type="1"> ... </Lead></pre>
Reference_impedance	Lead element	Specifies the reference impedance used in performing PDN measurements. Undefined if using netlist for describing the PDN.	Optional	<pre><Lead Id="1" Type="S" Param_order="Freq,S11" Format="MA" Reference_impedance="50ohm"> ... </Lead></pre>
Use	Lead element	Specifies one of the parameters defined in Param_order, except the frequency term, which is to be specifically used. See 6.8.2.9. Undefined if using netlist for describing the PDN.	Optional	<pre><Lead Id="1" Type="S" Param_order="Freq,S21" Format="MA" Meas_type="1" Use="S21"> ... </Lead></pre>
Netlist	Lead element	Specifies the electrical connectivity of the PDN elements in circuit form using SPICE type data statements.	Required if Type="Ckt"	<pre><Lead Id="1" Type="Ckt"> ... <Netlist> </Netlist> ... </Lead></pre>
Unit_freq	Lead element	Specifies the units of the frequencies used for specifying the PDN. The value shall conform to A.2.5.5. If this keyword is omitted, the units are assumed to be SI units. Undefined if using netlist for describing the PDN and Data_files in touchstone format.	Optional	<pre><Lead Id="1" Type="S"> <Unit_freq> MHz </Unit_freq> ... </Lead></pre>
Unit_param	Lead element	Specifies the units of the parameters used for specifying the PDN. The value shall conform to A.2.5.5. If this keyword is omitted, the units are assumed to be SI units. Undefined if using netlist for describing the PDN and Data_files in touchstone format.	Optional Undefined if Type="Ckt"	<pre><Lead Id="1" Type="S"> <Unit_param> dB </Unit_param> ... </Lead></pre>

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Power_level	Lead element	Specifies the power level used for obtaining the PDN data. The value shall conform to A.2.5.3 and should carry both the value and units together. If no units are found, SI units are assumed. Undefined if using netlist for describing the PDN and Data_files.	Required	<pre> <Lead Id="1" Type="S"> <Power_level> -10dBm </Power_level> ... </Lead> </pre>
Data_files	Lead element	Specifies the path names of the files containing a list of PDN data. The path names are separated by a space character (" ") or a line termination. The file names and paths shall conform to A.2.4.2 and A.2.4.3. Only one Data_files keyword or one List keyword shall be included in the Pdn section.	Required if not List	<pre> <Lead Id="1" Type="S"> ... <Data_files> Pdn_pin1_S11.txt </Data_files> ... </Lead> </pre>
List	Lead element	Specifies a list of PDN data entries in the model.	Required if not Data_files	<pre> <Lead Id="1" Type="S"> ... <List> ... </List> ... </Lead> </pre>

E.8.2 Netlist section keywords

The keywords shown in Table E.9 may be placed in the *Netlist* section under the *Pdn* tag as the parent element.

Table E.9 – Netlist section keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Kind	Netlist element	Specifies the kind of netlist used for defining the PDN. See 6.8.3.4 for more information.	Optional	<Netlist Kind="SPICE3"> R1 1 10 1e3 ... </Netlist>
Data_files	Netlist element	Specifies the path names of the files containing a netlist. The path names are separated by a space character (" ") or a line termination. The file names and paths shall conform to A.2.4.2 and A.2.4.3. Only one Data_files keyword shall be used.	Optional	< Netlist Kind="SPICE3"> ... <Data_files> PDN_Pin1.net </Data_files> ... </Netlist>

E.9 *Ibc* section keywords

E.9.1 *Lead* element keywords

The IBC data of each tested lead are defined within the *Lead* tag, similar to the *PDN*. The *Lead* keyword in the *Ibc* section has the following valid attributes (see Table E.10):

Table E.10 – *Lead* element keywords in the *Ibc* section

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Id	Lead element	Specifies the identity or number of the Lead element. One or many Ids are allowed for differentiating between single, differential or multi-ended pins. For differential or multi-ended pins, Ids shall be separated by a ",", " character.	Required	<Lead Id="1 2"...> ... </Lead> <Lead Id="1,2,3"...> ... </Lead>
Blockname	Lead element	Specifies the name of the IBC block.	Optional	<Blockname> Block1_IBC </Blockname>
Type	Lead element	Specifies the type of IBC data: "S" for S-parameters, "Z" for Z-parameters, "Y" for Y-parameters, "Ckt" for circuit definition. See 6.8.2.4.	Optional	<Lead Id="1 2" Type="Z"> ... </Lead>

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Param_order	Lead element	Specifies the order in which the IBC parameters are defined. See 6.8.2.5 for detailed information. Undefined if using Data_files in touchstone format and netlist based IBC description.	Optional Undefined if Type="Ckt"	<Lead Id="1 2" Type="Z" Param_order="Freq,Z11"> ... </Lead>
Format	Lead element	Specifies the IBC data format. See 6.8.2.6. Undefined if using Data_files in touchstone format and netlist based IBC description.	Optional	<Lead Id="1 2" Type="Z" Param_order="Freq,Z11" Format="MA"> ... </Lead>
Meas_type	Lead element	Specifies the method implemented for performing IBC measurements. See 6.8.2.7 and 7.3.2. Undefined if using netlist for describing the IBC.	Optional	<Lead Id="1 2" Type="S" Param_order="Freq,S21" Format="MA" Meas_type="1"> ... </Lead>
Reference_impedance	Lead element	Specifies the reference impedance used in performing PDN measurements. Undefined if using netlist for describing the IBC.	Optional	<Lead Id="1 2" Type="S" Param_order="Freq,S11" Format="MA" Reference_impedance="50 ohm"> ... </Lead>
Use	Lead element	Specifies one of the parameters defined in Param_order, except the frequency term, that is to be specifically used. See 6.8.2.9. Undefined if using netlist for describing the IBC.	Optional	<Lead Id="1 2" Type="S" Param_order="Freq,S21" Format="MA" Meas_type="1" Use="S21"> ... </Lead>
Netlist	Lead element	Specifies the electrical connectivity of the IBC elements in circuit form using SPICE type data statements.	Required if Type="Ckt"	<Lead Id="1 2" Type="Ckt"> ... <Netlist> ... </Netlist> ... </Lead>
Unit_freq	Lead element	Specifies the units of the frequencies used for specifying the IBC. The value shall conform to A.2.5.5. If this keyword is omitted, the units are assumed to be SI units. Undefined if using netlist for describing the IBC and Data_files in touchstone format.	Optional	<Lead Id="1 2" Type="S"> <Unit_freq> MHz </Unit_freq> ... </Lead>

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Unit_param	Lead element	Specifies the units of the parameters used for specifying the IBC. The value shall conform to A.2.5.5. If this keyword is omitted, the units are assumed to be SI units. Undefined if using netlist for describing the IBC and Data_files in touchstone format.	Optional Undefined if Type="Ckt"	<pre> <Lead Id="1 2" Type="S"> <Unit_param> dB </Unit_param> ... </Lead> </pre>
Power_level	Lead element	Specifies the power level used for obtaining the IBC data. The value shall conform to A.2.5.5 and should carry both the value and units together. If no units are found, SI units are assumed. Undefined if using netlist for describing the IBC and Data_files.	Required	<pre> <Lead Id="1 2" Type="S"> <Power_level> -10dBm </Power_level> ... </Lead> </pre>
Data_files	Lead element	Specifies the path names of the files containing a list of IBC data corresponding to the IBC section. The path names are separated by a space character (" ") or a line termination. The file names and paths shall conform to A.2.4.2 and A.2.4.3. Only one Data_files keyword shall be included in the Ibc section.	Required if not List	<pre> <Lead Id="1 2" Type="S"> ... <Data_files> Pdn_pin1_S11.txt </Data_files> ... </Lead> </pre>
List	Lead element	Specifies a list of IBC data entries in the model.	Required if not Data_files	<pre> <Lead Id="1 2" Type="S"> ... <List> ... </List> ... </Lead> </pre>

E.9.2 Netlist section keywords

The keywords defined in Table E.9 may be placed in the *Netlist* section under the *Ibc* tag as the parent element.

E.10 Ib section keywords

E.10.1 Lead element keywords

The IB data of each tested lead defined within the *Lead* tag. The *Lead* keyword in the *Ib* section has the following valid attributes (see Table E.11):

Table E.11 – Lead element keywords in the *lb* section

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Id	Lead element	Specifies the identity or number of the Lead element. One or many Ids are allowed for differentiating between single, differential or multi-ended pins. For differential or multi-ended pins, Ids shall be separated by a "," character.	Required	<pre> <Lead Id="1"...> ... </Lead> <Lead Id="1,2,3"...> ... </Lead> </pre>
Ground_id	Lead element	Specifies the identity or number of the return signal lead. Only one id is allowed.	Required	<pre> <Lead Id="1" Ground_id="7"...> ... </Lead> <Lead Id="1,2,3" Ground_id="7" ...> ... </Lead> </pre>
Blockname	Lead element	Specifies the name of the IB block.	Optional	<pre> <Blockname> Block1 </Blockname> </pre>
Type	Lead element	Specifies the type of IB data: "DPI" for DPI based measurements.	Required	<pre> <Lead Id="1" Type="DPI"> ... </Lead> </pre>
Max_power_level	Lead element	Specifies the maximum injected power on to the lead id of interest. See E.10.2 for more details.	Optional	<pre> <Lead Id="1" Type="DPI" > <Max_power_level> ... </Max_power_level> ... </Lead> </pre>
Voltage	Lead element	Specifies the IB data as a voltage quantity. See E.10.3.	Required if not Current, Power	<pre> <Lead Id="1" Type="DPI" > <Voltage...> ... </Voltage> ... </Lead> </pre>
Current	Lead element	Specifies the IB data as a current quantity. See E.10.4.	Required if not Voltage, Power	<pre> <Lead Id="1" Type="DPI" > <Current...> ... </Current> ... </Lead> </pre>

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Power	Lead element	Specifies the IB data as a transmission power quantity. See E.10.5.	Required if not Voltage, Current	<pre><Lead Id="1" Type="DPI" > <Power...> ... </Power> ... </Lead></pre>

E.10.2 *Max_power_level* section keywords

The keywords shown in Table E.12 may be placed in the *Max_power_level* section under the *Lead* tag as the parent element (within the *lb* section).

Table E.12 – *Max_power_level* section keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Value	Max_power_level element	Specifies the power level used for obtaining the PDN data. The value shall conform to A.2.5.5 and should carry both the value and units together. If no units are found, SI units are assumed.	Required	<pre><Max_power_level> <Value>35dBm</Value> </Max_power_level> or <Max_power_level Value="35dBm"/></pre>
Start_freq	Max_power_level element	Specifies the start frequency of the band in which the maximum power level is defined. The value shall conform to A.2.5.5 and should carry both the value and units together. If no units are found, SI units are assumed.	Optional	<pre><Max_power_level Value="35dBm" Start_freq="1MHz" ... /></pre>
Stop_freq	Max_power_level element	Specifies the stop frequency of the band in which the maximum power level is defined. The value shall conform to A.2.5.5 and should carry both the value and units together. If no units are found, SI units are assumed.	Optional	<pre><Max_power_level Value="35dBm" Start_freq="1MHz" Stop_freq="10MHz" ... /> <Max_power_level Value="25dBm" Start_freq="11MHz" Stop_freq="100MHz" ... /></pre>

E.10.3 *Voltage* section keywords

The keywords shown in Table E.13 may be placed in the *Voltage* section under the *Lead* tag as the parent element (within the *lb* section).

Table E.13 – Voltage section keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Test_criteria	Voltage element	Specifies the test conditions for obtaining the IB data. See E.10.6.	Required	<Voltage> <Test_criteria .../> </Voltage>
Param_order	Voltage element	Specifies the order in which the IB voltage quantity is defined. See 6.10.2.8 for detailed information.	Optional	<Voltage Param_order="Freq.voltage "> ... </Voltage>
Format	Voltage element	Specifies the data format for the voltage parameter. See 6.10.2.9.	Optional	<Voltage Param_order="Freq.voltage " Format="MAG"> ... </Voltage>
Unit_freq	Voltage element	Specifies the units of the frequencies used for specifying the IB voltage quantity. The value shall conform to A.2.5.5. If this keyword is omitted, the units are assumed to be SI units.	Optional	<Voltage Param_order="Freq.voltage " Format="MAG"> <Unit_freq> kHz </Unit_freq> ... </Voltage>
Unit_voltage	Voltage element	Specifies the voltage units of IB data. The value shall conform to A.2.5.5. If this keyword is omitted, the units are assumed to be SI units.	Optional	<Voltage Param_order="Freq.voltage " Format="MAG"> <Unit_voltage> dB </Unit_voltage> ... </Voltage>
Data_files	Voltage element	Specifies the path names of the files containing a list of IB data as a voltage quantity. The path names are separated by a space character (" ") or a line termination. The file names and paths shall conform to A.2.4.2 and A.2.4.3. Only one Data_files keyword shall be included in the Voltage section.	Required if not List	<Voltage Param_order="Freq.voltage " Format="MA"> ... <Data_files> Ib_voltage_pin1.dat </Data_files> ... </Voltage>

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
List	Voltage element	Specifies a list of IB voltage data entries in the model. Only one List keyword shall be used.	Required if not Data_files	<pre> <Voltage Param_order="Freq,voltage " Format="MA"> ... <List> ... </List> ... </Voltage> </pre>

E.10.4 Current section keywords

The keywords shown in Table E.14 may be placed in the *Current* section under the *Lead* tag as the parent element (within the *lb* section).

Table E.14 – Current section keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Test_criteria	Current element	Specifies the test conditions for obtaining the IB data. See E.10.6.	Required	<pre> <Current> <Test_criteria .../> </Current> </pre>
Param_order	Current element	Specifies the order in which the IB current quantity is defined. See 6.10.2.8 for detailed information.	Optional	<pre> <Current Param_order="Freq,voltage "> ... </Current> </pre>
Format	Current element	Specifies the data format for the current parameter. See 6.10.2.9.	Optional	<pre> <Current Param_order="Freq,Current " Format="MAG"> ... </Current> </pre>
Unit_freq	Current element	Specifies the units of the frequencies used for specifying the IB Current quantity. The value shall conform to A.2.5.5. If this keyword is omitted, the units are assumed to be SI units.	Optional	<pre> <Current Param_order="Freq,Current " Format="MAG"> <Unit_freq> kHz </Unit_freq> ... </Current> </pre>
Unit_current	Current element	Specifies the current units of IB data. The value shall conform to A.2.5.5. If this keyword is omitted, the units are assumed to be SI units.	Optional	<pre> <Current Param_order="Freq,Current " Format="MAG"> <Unit_current> dB </Unit_current> ... </Current> </pre>

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Data_files	Current element	Specifies the path names of the files containing a list of IB data as a current quantity. The path names are separated by a space character (" ") or a line termination. The file names and paths shall conform to A.2.4.2 and A.2.4.3. Only one Data_files keyword shall be included in the Current section.	Required if not List	<pre> <Current Param_order="Freq,Current " Format="MA"> ... <Data_files> lb_current_pin1.dat </Data_files> ... </Current> </pre>
List	Current element	Specifies a list of IB current data entries in the model. Only one List keyword shall be used.	Required if not Data_files	<pre> <Current Param_order="Freq,Current " Format="MA"> ... <List> ... </List> ... </Current> </pre>

E.10.5 Power section keywords

The keywords shown in Table E.15 may be placed in the *Power* section under the *Lead* tag as the parent element (within the *lb* section):

Table E.15 – Power section keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Test_criteria	Power element	Specifies the test conditions for obtaining the IB data. See E.10.6.	Required	<pre> <Power> <Test_criteria .../> </Power> </pre>
Param_order	Power element	Specifies the order in which the IB power quantity is defined. See 6.10.2.8 for detailed information.	Optional	<pre> <Power Param_order="Freq,voltage "> ... </Power> </pre>
Format	Power element	Specifies the data format for the power parameter. See 6.10.2.9.	Optional	<pre> <Power Param_order="Freq,Power" Format="MAG"> ... </Power> </pre>
Unit_freq	Power element	Specifies the units of the frequencies used for specifying the IB Power quantity. The value shall conform to A.2.5.5. If this keyword is omitted, the units are assumed to be SI units.	Optional	<pre> <Power Param_order="Freq,Power" Format="MAG"> <Unit_freq> kHz </Unit_freq> ... </Power> </pre>

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Unit_power	Power element	Specifies the power units of IB data. The value shall conform to A.2.5.5. If this keyword is omitted, the units are assumed to be SI units.	Optional	<pre> <Power Param_order="Freq,Power" Format="MAG"> <Unit_power> dB </Unit_power> ... </Power> </pre>
Data_files	Power element	Specifies the path names of the files containing a list of IB data as a power quantity. The path names are separated by a space character (" ") or a line termination. The file names and paths shall conform to A.2.4.2 and A.2.4.3. Only one Data_files keyword shall be included in the Power section.	Required if not List	<pre> <Power Param_order="Freq,Power" Format="MA"> ... <Data_files> lb_power_pin1.dat </Data_files> ... </Power> </pre>
List	Power element	Specifies a list of IB power data entries in the model. Only one List keyword shall be used.	Required if not Data_files	<pre> <Power Param_order="Freq,Power" Format="MA"> ... <List> ... </List> ... </Power> </pre>

E.10.6 Test_criteria section keywords

The keywords shown in Table E.16 may be placed in the *Voltage*, *Current* and *Power* sections under the *Lead* tag as the parent element (within the *Ib* section).

Table E.16 – Test_criteria section keywords

Keyword	Parent	Description	Presence	Example
Id	Test_criteria element	Specifies the identity or number of the monitored Lead element (OO). Only one Id is allowed per definition.	Required	<Test_criteria Id="10"/>
Ground_id	Test_criteria element	Specifies the identity or number of the return signal lead used for referencing the OO. Only one Id is allowed per definition. If absent, the top-level Ground_id in IB section is used.	Optional	< Test_criteria Id="10" Ground_id="7"/>
Type	Test_criteria element	Specifies the type of test conducted: either pass/fail or non pass/fail. See 6.10.2.7 for more information	Required	<Test_criteria Id="10" Type="PF"/>
Level	Test_criteria element	Specifies the tolerance level set on the monitored lead during the tests. The value shall conform to A.2.5.5 and should carry both the value and units together. If no units are found, SI units are used. See 6.10.2.7 for more information. For more than one levels, the values shall be separated by a comma ",".	Optional	<Test_criteria Id="10" Type="PF" Level="100mV"/> or <Test_criteria Id="10" Type="PF" Level="+100mV, -100mV "/>
Parameter	Test_criteria element	Specifies the parameter on which the test condition is set. See 6.10.2.7 for more information.	Optional	<Test_criteria Id="10" Type="PF" Level="100mV" Parameter="Amplitude"/>

Annex F (informative)

PDN impedance measurement methods using vector network analyzer

F.1 General

When using VNA for S -parameter measurements (and Z - or Y -parameters), certain procedures need to be followed rigorously for obtaining precise results as per CISPR 17. These methods are described briefly below with the use of a two-port VNA. Nevertheless, these methods can be extended to four-port VNA.

F.2 Conventional one-port method

The simplest equivalent circuit model for one-port of a VNA connected to the pin under test (DUT) is shown in Figure F.1.

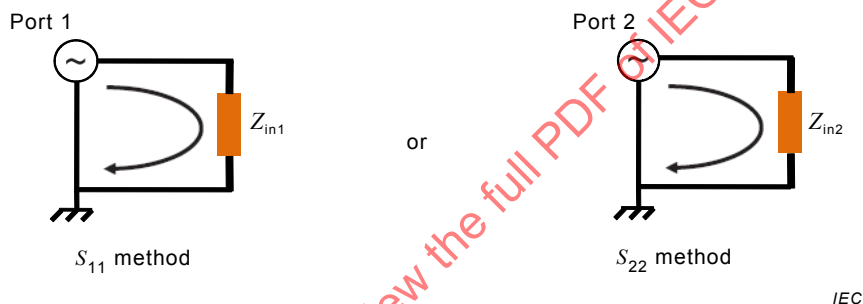


Figure F.1 – Conventional one-port S -parameter measurement

Depending on the exciting port (Port 1 or Port 2), S_{11} or S_{22} represents the impedance of the pin (Z_{in1} or Z_{in2} respectively). For example, Z_{in1} can be obtained from S_{11} using

$$Z_{in1} = Z_0 \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}},$$

where Z_0 is the characteristic impedance of Port 1, which is 50 Ω in most cases.

F.3 Two-port method for low impedance measurement

In order to measure low impedance accurately ($Z_{in} \ll Z_0$), the pin under test shall be placed parallel to the two-VNA ports as shown in Figure F.2. This configuration is called shunt connection.

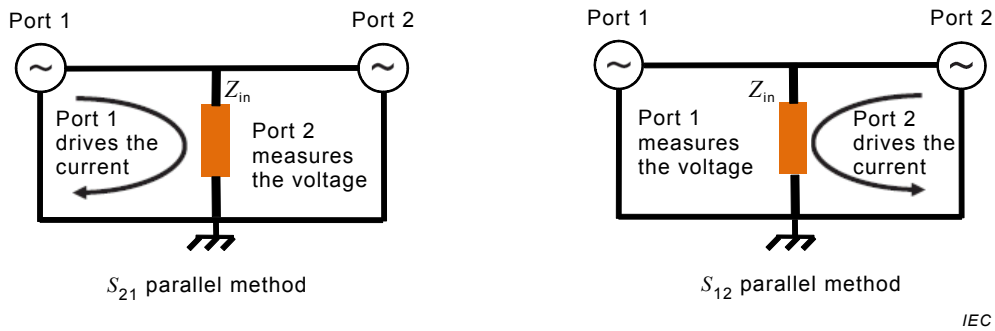


Figure F.2 – Two-port method for low impedance measurement

In this two-port method, S_{11} and S_{22} see the impedance of the pin under test, with a Z_0 impedance shunting across it, from the other port. The information contained in the return loss measurements is clouded by the low impedance of the pin and the additional Z_0 shunt from the other port. However, S_{21} or S_{12} has much more valuable information about the impedance of the pin under test.

For example, Z_{in} can be obtained from S_{21} using

$$Z_{in} = Z_0 \frac{S_{21}}{2(1 - S_{21})}$$

F.4 Two-port method for high impedance measurement

In order to measure high impedance ($Z_{in} \gg Z_0$) accurately, the pin under test shall be placed in series to the two-VNA ports as shown in Figure F.3. This is also called series connection.

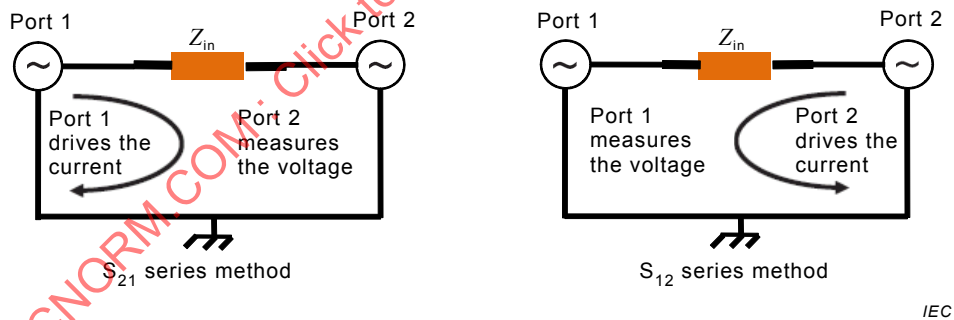


Figure F.3 – Two-port method for high impedance measurement

In this two-port method, S_{11} and S_{22} see the impedance of the DUT, with a Z_0 impedance in series, from the other port. However, S_{21} or S_{12} has much more valuable information about the impedance of the pin under test.

$$Z_{in} = Z_0 \frac{2(1 - S_{21})}{S_{21}}$$

Annex G (informative)

RFIP measurement method description

G.1 General

The RFIP (RF injection probe) method is derived from the DPI test method. The probe applies the disturbance using an RF generator and measures the voltage across the DUT (V_1 and V_{DUT}). The I_{DUT} , P_{DUT} and Z_{DUT} parameters are then computed. An oscilloscope is used to measure V_1 and V_{DUT} in the time domain. The setup is shown in Figure G.1. All the computation is performed in frequency domain thanks to a processing performed with a software tool.

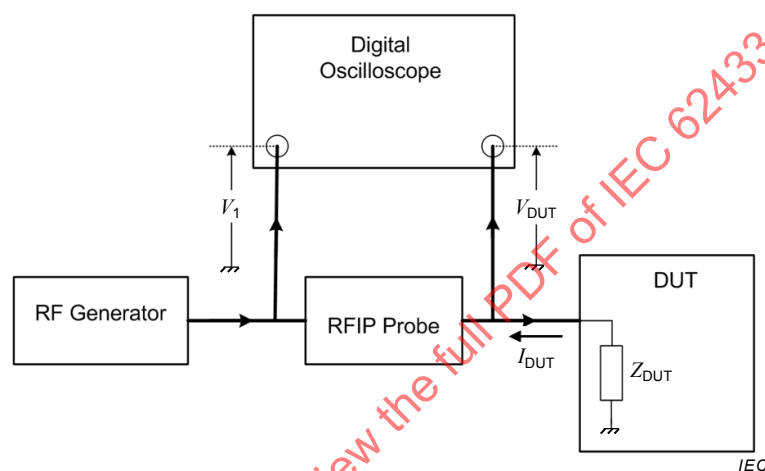


Figure G.1 – Test setup of the RFIP measurement method derived from DPI method

G.2 Obtaining immunity parameters

Obtaining the immunity parameters is very straightforward using the RFIP technique. This method is based on the current and voltage measurements as shown in Figure G.2.

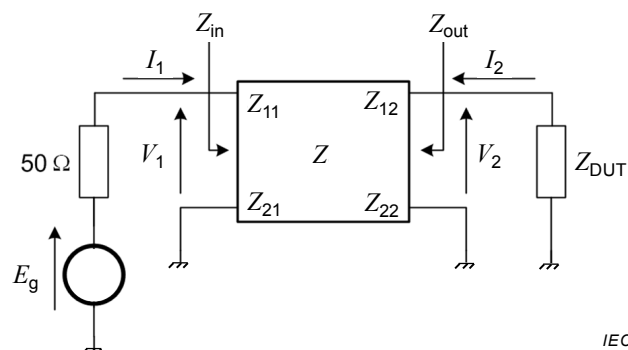


Figure G.2 – Principle of the RFIP measurement method

The RFIP probe is defined by the Z -matrix characterized by two-port measurements. All the key electrical parameters, namely I_{DUT} , P_{DUT} and Z_{DUT} can be computed based on the measurement of the voltages V_{DUT} and V_1 .

The general equation of Z_{in} is:

$$Z_{\text{in}} = Z_{11} - \frac{Z_{12} Z_{21}}{Z_{22} + Z_{\text{DUT}}}$$

First of all, E_g , the amplitude of the noise generator, has to be determined by leaving Z unloaded ($Z_{\text{DUT}} = \infty$):

$$Z_{\text{in}} = Z_{11}$$

E_g is then obtained using:

$$E_g = \frac{Z_{11} + 50}{Z_{11}}$$

Z_{DUT} is then computed using:

$$Z_{\text{DUT}} = \frac{Z_{12} Z_{21}}{Z_{11} - Z_{\text{in}}} - Z_{22}$$

Then I_{DUT} is computed:

$$I_{\text{DUT}} = \frac{V_{\text{DUT}}}{Z_{\text{DUT}}}$$

And finally the active power is obtained:

$$P_T = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left[\frac{V_{\text{DUT}} V_{\text{DUT}}^*}{Z_{\text{DUT}}} \right] = \frac{1}{2} \operatorname{Re} [I_{\text{DUT}} I_{\text{DUT}}^* Z_{\text{DUT}}]$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62433-4:2016

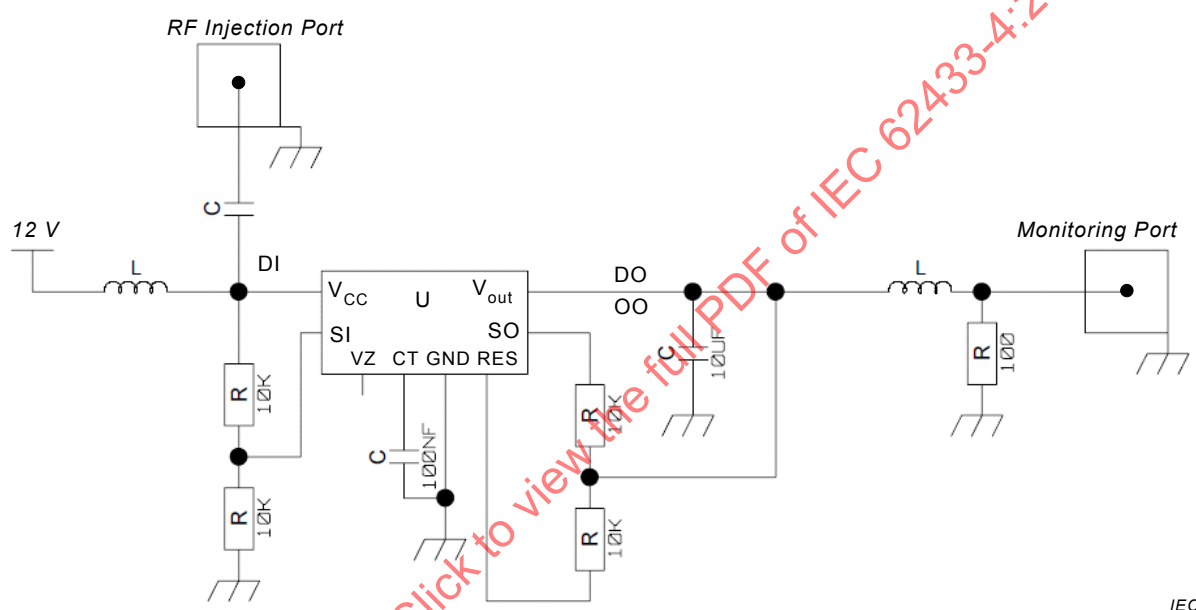
Annex H (informative)

Immunity simulation with ICIM model based on pass/fail test

H.1 ICIM-CI macro-model of a voltage regulator IC

H.1.1 General

An application example is illustrated using a voltage regulator IC, with SOIC-8 package. The ICIM-CI macro-model is extracted with the topology shown in Figure H.1; the IC is put in its nominal (stable) operating conditions. In this application, V_{out} is designated as a potential DO pin and is also monitored (OO) while RF injection is done on the V_{CC} pin (DI).



IEC

**Figure H.1 – Electrical schematic for extracting
the voltage regulator's ICIM-CI**

To allow the IC to be biased under RF disturbance, a bias-tee network is used. This is accomplished using a (1 nF and 470 nF in parallel) capacitor network (C) on the RF input and inductor(s) on the DC line. In this application, the following coils (L) were used in series: 47 μ H and a ferrite bead of 1 k Ω impedance at 100 MHz.

H.1.2 PDN extraction

The PDN is represented as two-port S -parameter data between V_{CC} (DI), V_{out} (DO) and Ground (GND) terminals. Measurements are made with a VNA at -10 dBm (see Figure H.2a).

H.1.3 IB extraction

The IB is extracted using DPI measurements in the band from 1 MHz to 1 GHz. The maximum injected power on the V_{CC} pin is set to of 40 dBm with a disturbance dwell time of 500 ms. Conventional pass/fail test is carried out on the OO lead (V_{out}) with the following test conditions: ± 200 mV tolerance on amplitude, for a nominal voltage of 4,78 V. The incident power causing the malfunction is measured and the transmitted power (P_T) representing the IB is obtained as discussed in 7.4.2 (see Figure H.2b).

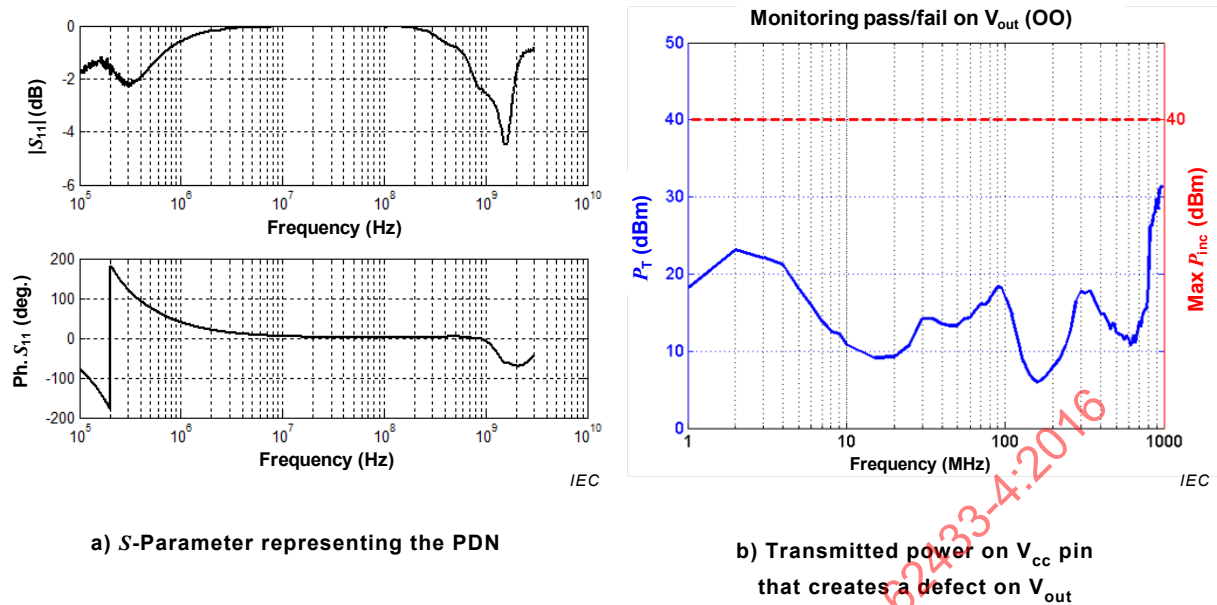


Figure H.2 – ICIM-CI extraction on the voltage regulator example

H.1.4 SPICE-compatible macro-model

The obtained PDN and IB data are exported in CIML format. A SPICE-compatible ICIM-CI macro-model, shown in Figure H.3 is generated.

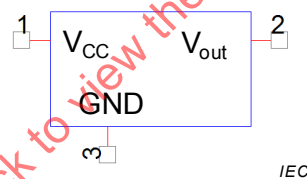
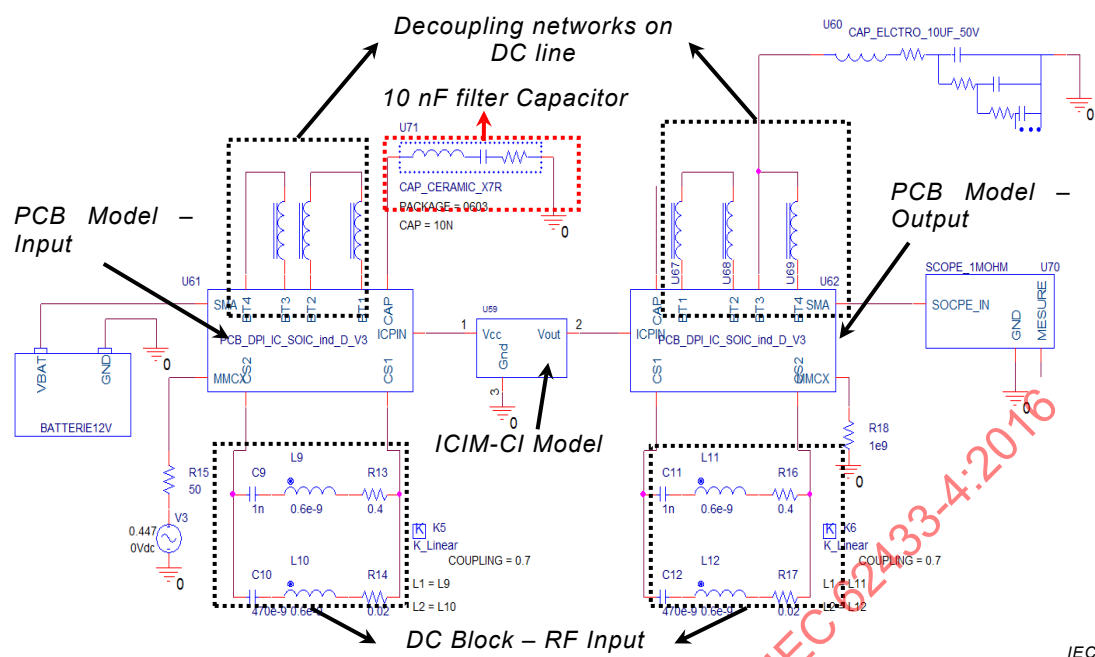


Figure H.3 – Example of a SPICE-compatible ICIM-CI macro-model of the voltage regulator

H.2 Application level simulation and failure prediction

The generated ICIM-CI macro-model is simulated in a SPICE simulator for its immunity performance at application level, in another configuration: a 10 nF capacitor, in 0603 package, is added as a filter between the V_{CC} supply pin and the ground. The simulated schematic is shown in Figure H.4.

For validation purposes, DPI measurement is performed on the application (with filter capacitor), i.e. the setup is same as that in Figure H.1, except that an additional 10 nF capacitor in a 0603 package is added between the V_{CC} pin and ground, close to the IC.



Annex I (informative)

Immunity simulation with ICIM model based on non pass/fail test

Annex I deals with estimating failure using ICIM-CI macro-model when the IB component is extracted using a non pass/fail test on the OOs.

The IB file extracted using the RFIP probe or the DPI test method is shown in Figure I.1. It gives the immunity criterion expressed in transmitted power, i.e. it represents the behavioural aspect of the OO as a function of transmitted power without specified limits. In such cases, the IB data is represented by the maximum power acceptable by the DUT before a change on the OO occurs in the specified frequency range.

The column on the right thus gives the maximum transmitted power before the variation occurs. For example at 1,25 MHz the maximum transmitted power is –27 dBm for guaranteed functioning (no change on the OO is observed).

#	Hz	PTr (dBm)
	1250000	–27
	1500000	–26
	1750000	–25.5
	2250000	–24
	2500000	–23
	2750000	–35.5
	3000000	–37.5
	3250000	–22.6
	3500000	–21.6
	3750000	–21
	4250000	–20.5
	4500000	–20
	4750000	–19.8

IEC

Figure I.1 – Example of an IB file for a given failure criterion

There is an IB file for each immunity criterion. To determine if a failure occurs, the simulation of the transmitted power applied to the DI terminal is compared to the curve supplied by the IB block. The failure detection has to be done by monitoring the simulated transmitted power and the immunity criteria supplied by the IB block. The simulation result is an analogue data and not a binary data. It gives more details about the behaviour before and after the malfunction.

Figure I.2 plots an example where the simulated transmitted power is compared to measured OO's immunity behaviour. The blue (continuous) curve shows the transmitted power before a variation on the OO is observed. The red (dashed) curve shows the transmitted power obtained by simulation on the DI terminal of the PDN. When the simulated transmitted power is higher than the measured transmitted power for the same susceptibility criterion, the DUT fails. In this example the DUT fails between 2,6 MHz and 3,2 MHz. For example, at 1,25 MHz, the simulation result is –42 dBm and therefore the user can conclude by comparing these values that the test result is "Pass" (–42 dBm < –27 dBm). At 2,75 MHz, the measured transmitted power is –35,5 dBm and the simulation is –25 dBm. The test "fails" because the simulation result is higher (–25 dBm > –35,5 dBm).

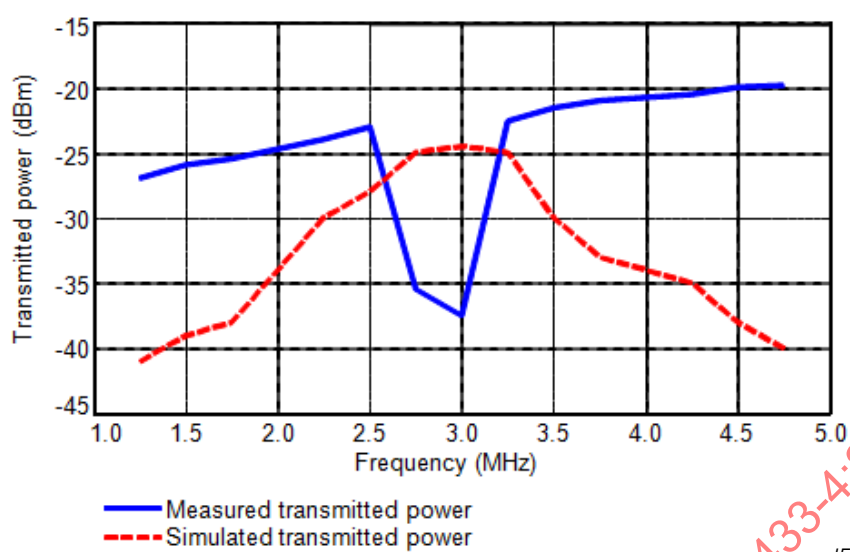


Figure I.2 – Comparison of simulated transmitted power and measured immunity behaviour

IEC

Bibliography

- [1] Paoli, J, Maler, E, Yergeau, F, Sperberg- McQueen, C, and T. Bray, *Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fourth Edition)*, World Wide Web Consortium Recommendation REC-xml- 20060816, August 2006
- [2] Quarles, T, Newton, A.R, Pederson,D.O, Sangiovanni-Vincentelli, A, *SPICE3 Version 3f3 User's Manual*, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, Berkeley, May 1993
- [3] POZAR, David M, *Microwave engineering*, 4th ed, ISBN 978-0-470-63155-3, Wiley, 2011

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62433-4:2016

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62433-4:2016

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	113
1 Domaine d'application.....	115
2 Références normatives	115
3 Termes, définitions, abréviations et conventions.....	116
3.1 Termes et définitions	116
3.2 Abréviations.....	117
3.3 Conventions.....	118
4 Philosophie	118
5 Description du modèle ICIM-CI	118
5.1 Généralités	118
5.2 Description du PDN.....	120
5.3 Description du couplage interblochs (IBC)	122
5.4 Description de l'IB	123
6 Format CIML	124
6.1 Généralités	124
6.2 Structure CIML.....	126
6.3 Mots clés globaux	126
6.4 Section Header	126
6.5 <i>Lead definitions</i> (définitions des connexions)	127
6.6 Macromodèles SPICE	128
6.7 Section Validity	130
6.7.1 Généralités	130
6.7.2 Définitions d'attributs.....	131
6.8 PDN.....	133
6.8.1 Généralités	133
6.8.2 Définitions d'attributs.....	134
6.8.3 PDN pour entrée ou sortie asymétrique	137
6.8.4 PDN d'une entrée différentielle.....	146
6.8.5 Description du PDN multiaccès.....	150
6.9 IBC.....	151
6.9.1 Généralités	151
6.9.2 Définitions d'attributs.....	152
6.10 IB	153
6.10.1 Généralités	153
6.10.2 Définitions d'attributs.....	154
6.10.3 Description	160
7 Extraction	162
7.1 Généralités	162
7.2 Contraintes environnementales d'extraction	162
7.3 Extraction PDN	162
7.3.1 Généralités	162
7.3.2 Mesurage de paramètres $S/Z/Y$	162
7.3.3 Technique RFIP	163
7.4 Extraction IB	163
7.4.1 Généralités	163
7.4.2 Méthode d'essai d'injection directe de puissance RF.....	163

7.4.3	Méthode d'essai de sonde d'injection RF	167
7.4.4	Tableau de données IB	168
7.5	IBC	168
8	Validation des hypothèses ICIM-CI	169
8.1	Généralités	169
8.2	Linéarité	169
8.3	Critère d'immunité par rapport à la puissance transmise	170
9	Utilisation du modèle	171
Annexe A (normative)	Définitions préliminaires pour la représentation XML	173
A.1	Éléments de base XML	173
A.1.1	Déclaration XML	173
A.1.2	Éléments de base	173
A.1.3	Élément racine	173
A.1.4	Commentaires	174
A.1.5	Terminaisons de ligne	174
A.1.6	Hierarchie des éléments	174
A.1.7	Attributs d'élément	174
A.2	Exigences relatives au mot clé	174
A.2.1	Généralités	174
A.2.2	Caractères de mot clé	175
A.2.3	Syntaxe de mot clé	175
A.2.4	Structure de fichier	175
A.2.5	Valeurs	178
Annexe B (informative)	Exemple d'ICIM-CI avec intensité de perturbation	180
Annexe C (informative)	Conversions entre les types de paramètres	181
C.1	Généralités	181
C.2	Entrée ou sortie asymétrique	181
C.3	Entrée ou sortie différentielle	182
Annexe D (informative)	Exemple de macromodèle ICIM-CI au format CIML	187
Annexe E (normative)	Mots clés CIML valides et utilisation	192
E.1	Mots clés d'élément racine	192
E.2	Mots clés d'en-tête de fichier	192
E.3	Mots clés de la section <i>Validity</i>	194
E.4	Mots clés globaux	194
E.5	Mot clé <i>Lead</i>	195
E.6	Attributs de la section <i>Lead_definitions</i>	195
E.7	Attributs de la section <i>Macromodels</i>	196
E.8	Mots clés de la section <i>Pdn</i>	197
E.8.1	Mots clés de l'élément <i>Lead</i>	197
E.8.2	Mots clés de la section <i>Netlist</i>	199
E.9	Mots clés de la section <i>Ibc</i>	199
E.9.1	Mots clés de l'élément <i>Lead</i>	199
E.9.2	Mots clés de la section <i>Netlist</i>	202
E.10	Mots clés de la section <i>Ib</i>	202
E.10.1	Mots clés de l'élément <i>Lead</i>	202
E.10.2	Mots clés de la section <i>Max_power_level</i>	203
E.10.3	Mots clés de la section <i>Voltage</i>	203
E.10.4	Mots clés de la section <i>Current</i>	205

E.10.5	Mots clés de la section <i>Power</i>	206
E.10.6	Mot clé de la section <i>Test_criteria</i>	207
Annexe F (informative) Méthodes de mesure de l'impédance PDN à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel.....		209
F.1	Généralités	209
F.2	Méthode conventionnelle à un accès	209
F.3	Méthode à deux accès pour le mesurage de faible impédance	209
F.4	Méthode à deux accès pour le mesurage d'impédance élevée	210
Annexe G (informative) Description de la méthode de mesure RFIP.....		211
G.1	Généralités	211
G.2	Obtention des paramètres d'immunité.....	211
Annexe H (informative) Simulation d'immunité avec le modèle ICIM reposant sur l'essai de réussite/échec		213
H.1	Macromodèle ICIM-CI d'un CI de régulateur de tension.....	213
H.1.1	Généralités	213
H.1.2	Extraction PDN	213
H.1.3	Extraction IB	213
H.1.4	Macromodèle compatible avec SPICE	214
H.2	Simulation et prévision de défaillance du niveau de l'application	214
Annexe I (informative) Simulation d'immunité avec le modèle ICIM reposant sur l'essai de non-réussite/échec		217
Bibliographie		219
Figure 1 – Exemple de structure de modèle ICIM-CI		119
Figure 2 – Exemple d'un modèle ICIM-CI d'une carte électronique		120
Figure 3 – Exemple de réseau IBC		122
Figure 4 – Représentation du modèle ICIM-CI avec différents blocs		123
Figure 5 – Hiérarchie d'héritage CIML		125
Figure 6 – Exemple de fichier netlist définissant un sous-circuit		130
Figure 7 – Schémas électriques du PDN		137
Figure 8 – PDN représenté sous la forme d'une boîte noire à un accès		138
Figure 9 – PDN représenté sous la forme de paramètres S au format Touchstone		141
Figure 10 – PDN représenté sous la forme de paramètres S à deux accès au format Touchstone		142
Figure 11 – Exemple de structure pour la définition du PDN à l'aide des éléments de circuit		143
Figure 12 – Exemple de définition de circuit principal PDN Netlist asymétrique		144
Figure 13 – Exemple de PDN Netlist asymétrique avec définitions de sous-circuit et de circuit principal		145
Figure 14 – Schéma d'entrée différentielle.....		147
Figure 15 – PDN représenté sous la forme d'une boîte noire à deux accès.....		147
Figure 16 – Format de données PDN pour une entrée ou sortie différentielle.....		148
Figure 17 – Exemple d'entrées différentielles d'un amplificateur opérationnel.....		150
Figure 18 – Modèle ICIM-CI d'un composant 74HC08		151
Figure 19 – Exemple de fichier IB obtenu par suite d'un mesurage DPI		161
Figure 20 – Montage d'essai de la méthode de mesure d'immunité DPI tel que spécifié dans l'IEC 62132-4		164

Figure 21 – Principe d'injection directe de puissance (DPI) à une seule broche et à broches multiples.....	165
Figure 22 – Représentation électrique du montage d'essai DPI.....	166
Figure 23 – Montage d'essai de la méthode de mesure RFIP déduite de la méthode DPI.....	167
Figure 24 – Exemple de montage utilisé pour représenter les hypothèses ICIM-CI.....	169
Figure 25 – Exemple de validation de l'hypothèse de linéarité.....	170
Figure 26 – Exemple de validation de critère de puissance transmise.....	171
Figure 27 – Utilisation du macromodèle ICIM-CI pour la simulation.....	172
Figure A.1 – Fichiers XML (CIML) multiples.....	176
Figure A.2 – Fichiers XML avec fichiers de données (*.dat).....	177
Figure A.3 – Fichiers XML avec fichiers supplémentaires.....	177
Figure B.1 – Description ICIM-CI appliquée à l'étage oscillateur pour extraire IB.....	180
Figure C.1 – DI asymétrique.....	181
Figure C.2 – DI différentielle.....	182
Figure C.3 – Représentation à deux accès d'une DI différentielle.....	182
Figure C.4 – Simulation de l'injection en mode commun sur une DI différentielle en fonction du DPI.....	184
Figure C.5 – Impédance d'entrée de mode commun équivalente d'une DI différentielle.....	184
Figure C.6 – Détermination de la puissance transmise pour une DI différentielle.....	185
Figure D.1 – Montage d'essai sur un exemple d'émetteur-récepteur LIN.....	187
Figure D.2 – Données PDN au format touchstone (s2p), données mesurées à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel.....	190
Figure D.3 – Données PDN de la connexion 6 (LIN) et de la connexion 7 (VCC).....	190
Figure D.4 – Données IB au format ASCII (.txt), données mesurées par la méthode DPI – Injection sur la broche VCC.....	191
Figure D.5 – Données IB pour l'injection sur la broche VCC.....	191
Figure F.1 – Mesurage conventionnel de paramètres S à un accès.....	209
Figure F.2 – Méthode à deux accès pour le mesurage de faible impédance.....	210
Figure F.3 – Méthode à deux accès pour le mesurage d'impédance élevée.....	210
Figure G.1 – Montage d'essai de la méthode de mesure RFIP déduite de la méthode DPI.....	211
Figure G.2 – Principe de la méthode de mesure RFIP.....	212
Figure H.1 – Schéma électrique d'extraction de l'ICIM-CI du régulateur de tension.....	213
Figure H.2 – Exemple d'extraction ICIM-CI sur le régulateur de tension.....	214
Figure H.3 – Exemple de macromodèle ICIM-CI compatible avec SPICE du régulateur de tension.....	214
Figure H.4 – Exemple de simulation au niveau d'une carte sur l'ICIM-CI du régulateur de tension avec modèle de CCI et autres composants contenant des éléments parasites.....	215
Figure H.5 – Puissance incidente en fonction de la fréquence exigée pour créer un défaut avec un filtre 10 nF.....	215
Figure I.1 – Exemple de fichier IB pour un critère de défaillance donné.....	217
Figure I.2 – Comparaison de la puissance transmise simulée et du comportement d'immunité mesuré.....	218

Tableau 1 – Attributs du mot clé <i>Lead</i> dans la section <i>Lead_definitions</i>	127
Tableau 2 – Compatibilité entre le champ <i>Mode</i> et le champ <i>Type</i> pour annotation CIML correcte.....	128
Tableau 3 – Définition <i>Subckt</i>	129
Tableau 4 – Définition de la section <i>Validity</i>	131
Tableau 5 – Définition du mot clé <i>Lead</i> pour la section <i>Pdn</i>	133
Tableau 6 – Formats valides de données et leurs unités par défaut dans la section <i>Pdn</i>	136
Tableau 7 – Extensions de fichiers valides de la section <i>Pdn</i>	136
Tableau 8 – Champs valides du mot clé <i>Lead</i> pour le PDN asymétrique	138
Tableau 9 – Définition de <i>Netlist</i>	143
Tableau 10 – Champs valides du mot clé <i>Lead</i> pour le PDN différentiel	149
Tableau 11 – Différences entre les champs de la section <i>Pdn</i> et de la section <i>Ibc</i>	152
Tableau 12 – Champs valides du mot clé <i>Lead</i> pour la définition d'IBC	153
Tableau 13 – Définition du mot clé <i>Lead</i> de la section <i>Ib</i>	154
Tableau 14 – Définition de <i>Max_power_level</i>	155
Tableau 15 – Définition de <i>Voltage</i> , <i>Current</i> et <i>Power</i>	156
Tableau 16 – Définition de <i>Test_criteria</i>	156
Tableau 17 – Valeurs par défaut des balises <i>Unit_voltage</i> , <i>Unit_current</i> et <i>Unit_power</i> en fonction du format de données	159
Tableau 18 – Extensions valides de fichiers de la section <i>Ib</i>	160
Tableau 19 – Exemple de critères de réussite/échec du tableau IB	168
Tableau A.1 – Unités logarithmiques valides	179
Tableau C.1 – Conversion de paramètres asymétriques.....	182
Tableau C.2 – Conversion de paramètres différentiels	183
Tableau C.3 – Calcul de la puissance.....	186
Tableau E.1 – Mots clés d'élément racine.....	192
Tableau E.2 – Mots clés de la section <i>Header</i>	193
Tableau E.3 – Mots clés de la section <i>Validity</i>	194
Tableau E.4 – Mots clés globaux.....	195
Tableau E.5 – Définition de l'élément <i>Lead</i>	195
Tableau E.6 – Mots clés de la section <i>Lead_definitions</i>	196
Tableau E.7 – Mots clés de la section <i>Macromodels</i>	196
Tableau E.8 – Mots clés de l'élément <i>Lead</i> de la section <i>Pdn</i>	197
Tableau E.9 – Mots clés de la section <i>Netlist</i>	199
Tableau E.10 – Mots clés de l'élément <i>Lead</i> de la section <i>Ibc</i>	200
Tableau E.11 – Mots clés de l'élément <i>Lead</i> de la section <i>Ib</i>	202
Tableau E.12 – Mots clés de la section <i>Max_power_level</i>	203
Tableau E.13 – Mots clés de la section <i>Voltage</i>	204
Tableau E.14 – Mots clés de la section <i>Current</i>	205
Tableau E.15 – Mots clés de la section <i>Power</i>	206
Tableau E.16 – Mots clés de la section <i>Test_criteria</i>	208

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MODÈLES DE CIRCUITS INTÉGRÉS POUR LA CEM –

Partie 4: Modèles de circuits intégrés pour la simulation du comportement d'immunité aux radiofréquences – Modélisation de l'immunité conduite (ICIM-CI)

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 direct ou indirect, 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 62433-4 a été établie par le sous-comité 47A: Circuits intégrés, du comité d'études 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47A/988/FDIS	47A/989/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.

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62433-4:2016

MODÈLES DE CIRCUITS INTÉGRÉS POUR LA CEM –

Partie 4: Modèles de circuits intégrés pour la simulation du comportement d'immunité aux radiofréquences – Modélisation de l'immunité conduite (ICIM-CI)

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62433 spécifie un macromodèle de simulation des niveaux d'immunité conduite d'un circuit intégré (CI). Ce modèle est communément appelé Modèle d'immunité de circuits intégrés – Immunité conduite (ICIM-CI – Integrated Circuit Immunity Model – Conducted Immunity). Il est destiné à prévoir les niveaux d'immunité aux perturbations radioélectriques conduites appliqués aux broches de circuits intégrés.

Afin d'évaluer le seuil d'immunité d'un dispositif électronique, ce macromodèle est inséré dans un outil de simulation de circuit électrique.

Ce macromodèle peut être utilisé pour modéliser les circuits intégrés analogiques et numériques (entrée/sortie, noyau numérique et alimentation). Ce macromodèle ne tient pas compte des effets non linéaires du circuit intégré.

L'ICIM-CI présente l'avantage de pouvoir également être utilisé pour la prévision d'immunité au niveau de la carte et du système grâce à des simulations.

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

- la description électrique des éléments du macromodèle ICIM-CI;
- un format universel d'échange de données appelé CIML et reposant sur le langage XML. Ce format permet de coder l'ICIM-CI sous une forme plus utile et générique pour la simulation d'immunité.

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 62132-1, *Circuits intégrés – Mesure de l'immunité électromagnétique – Partie 1: Conditions générales et définitions*

IEC 62132-4, *Circuits intégrés – Mesure de l'immunité électromagnétique 150 kHz à 1 GHz – Partie 4: Méthode d'injection directe de puissance RF*

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)*

ISO 8879:1986, *Traitement de l'information – Systèmes bureautiques – Langage normalisé de balisage généralisé (SGML)*

ISO/IEC 646:1991, *Technologies de l'information – Jeu ISO de caractères codés à 7 éléments pour l'échange d'information*

CISPR 17, *Méthodes de mesure des caractéristiques d'antiparasitage des dispositifs de filtrage CEM passifs*

3 Termes, définitions, abréviations et conventions

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1.1

section

élément XML situé un niveau en dessous de l'élément racine ou à l'intérieur d'une autre section; elle contient un ou plusieurs éléments XML, mais aucune valeur

3.1.2

parent

mot clé situé un niveau au-dessus d'un autre mot clé

3.1.3

enfant

mot clé situé un niveau en dessous d'un autre mot clé

3.1.4

borne externe

borne d'un macromodèle de circuit intégré, interfaçant le modèle avec l'environnement externe du circuit intégré

EXEMPLE Les broches d'alimentation et les broches d'entrée/sortie.

Note 1 à l'article: Dans la présente partie de l'IEC 62433, une borne est par défaut considérée comme externe, sauf indication contraire.

[SOURCE: IEC 62433-2:2008, 3.1, modifiée — La Note 1 à l'article a été modifiée, l'exemple a été ajouté]

3.1.5

borne interne

borne d'un composant du macromodèle de circuit intégré, interfaçant le composant avec les autres composants du macromodèle de circuit intégré

[SOURCE: IEC 62433-2:2008, 3.2]

3.1.6

analyseur syntaxique

outil d'analyse syntaxique des données codées dans un format spécifique

3.1.7

CIML

Conducted Immunity Markup Language (langage de balisage de l'immunité conduite)
format d'échange de données pour le modèle ICIM-CI

3.1.8

CIMLBase

Conducted Immunity Markup Language Base (base du langage de balisage de l'immunité conduite)

type abstrait à partir duquel tous les composants du modèle CIML sont directement ou indirectement déduits dans la définition du modèle ICIM-CI

3.1.9**DI**

Disturbance Input (entrée de perturbation)

borne d'entrée pour l'injection de perturbations radioélectriques

Note 1 à l'article: Il peut s'agir d'une broche de circuit intégré, d'une entrée, d'une alimentation ou d'une sortie.

3.1.10**DO**

Disturbance Output (sortie de perturbation)

borne dont la charge influence l'impédance de la borne DI et/ou les caractéristiques de transfert de PDN et qui génère une partie des perturbations reçues sur les bornes DI

3.1.11**OO**

Observable Output (sortie observable)

borne de sortie dans laquelle les critères d'immunité sont surveillés pendant l'essai

3.1.12**GND**

Ground terminal (borne de terre)

borne utilisée comme référence pour la voie de retour

3.1.13**PDN**

Passive Distribution Network (réseau de distribution passif)

bloc qui décrit le réseau d'impédance d'au moins un accès du circuit intégré

3.1.14**IB**

Immunity Behaviour (comportement d'immunité)

bloc qui décrit le comportement d'immunité interne du circuit intégré

3.1.15**IBC**

Inter Block Coupling (couplage interblocs)

bloc qui décrit le réseau de couplage entre différents blocs PDN à l'intérieur d'un circuit intégré

[SOURCE: IEC TS 62433-1:2011, 3.3]

3.1.16**VNA**

Vector Network Analyzer (analyseur de réseau vectoriel)

instrument de mesure des paramètres de réseau complexes (les paramètres S, Y ou Z, par exemple) du domaine fréquentiel

3.1.17**RFIP**

Radio Frequency Injection Probe (sonde d'injection de perturbations radioélectriques)

sonde permettant d'injecter des perturbations radioélectriques dans une broche d'un circuit intégré et de mesurer la tension et le courant

3.2 Abréviations

CIM Conducted Immunity Model (Modèle d'immunité conduite)

XML eXtensible Markup Language (Langage de balisage extensible)

SPICE Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis (Programme de simulation orienté circuits intégrés)

DES Décharge électrostatique

3.3 Conventions

Par souci de clarté, mais avec certaines exceptions, les conventions d'écriture XML ont été utilisées dans le texte et les tableaux.

4 Philosophie

Les circuits intégrés contiennent de plus en plus de grilles. La densité d'intégration des technologies augmente et les tensions d'alimentation deviennent plus faibles. La réduction de la distance entre les signaux sur puce, la réduction de la taille de géométrie de puce et l'augmentation des courants non désirés dans les structures parasites (les capacités dues à l'isolement, par exemple) donnent lieu à une augmentation de diaphonie interne. Par conséquent, l'immunité des circuits intégrés devient de plus en plus critique.

Compte tenu de ce risque élevé de faible immunité du CI, l'utilisation de modèles et d'outils de simulation est exigée afin d'optimiser le comportement d'immunité du CI et de l'application.

La présente partie de l'IEC 62433 décrit ces macromodèles de simulation du comportement d'immunité au niveau du CI. Le modèle, appelé ICIM-CI, est utilisé pour prévoir l'immunité électromagnétique au niveau de l'application. Ce modèle s'appuie sur des fichiers décrivant le PDN et l'IB contenant les données sur les perturbations électromagnétiques donnant lieu à une variation d'un ou de plusieurs signaux observables. Le PDN est considéré comme étant linéaire, alors que la non-linéarité inhérente du CI est prise en compte dans l'IB. Cette hypothèse est présentée en 8.2 (voir la Figure 25). Il convient que les utilisateurs du modèle appliquent un critère de défaillance au signal observable en fonction de leurs exigences.

Les données du modèle ICIM-CI sont disposées de manière imbriquée déchiffrable au format XML. Ce format d'échange, appelé Conducted Immunity Markup Language (CIML), consiste à créer un accès universel simple et pratique au modèle ICIM-CI. Les définitions préliminaires pour la représentation XML sont données à l'Annexe A.

5 Description du modèle ICIM-CI

5.1 Généralités

La structure interne d'un CI peut être décomposée en deux parties:

- a) Les parties passives (éléments parasites de broches, de liaisons et de pistes, protection contre les décharges électrostatiques) qui acheminent les perturbations entre l'environnement extérieur et les blocs internes de CI,
- b) Les parties actives (cœur de processeur, système d'horloge, mémoire, blocs analogiques). Il s'agit de blocs actifs internes sensibles aux perturbations entrantes.

Le modèle ICIM-CI est composé d'un ensemble de données décrivant ces deux parties:

- PDN: le réseau de distribution passif est un circuit à plusieurs accès. Il est composé de quatre bornes différentes:
 - DI: bornes auxquelles sont appliquées les perturbations,
 - DO: bornes qui peuvent influencer l'impédance des bornes DI et qui reçoivent, en conséquence, une partie des perturbations appliquées aux bornes DI,
 - GND: le réseau de distribution passif doit comporter au moins une borne de terre (terre numérique, terre analogique, par exemple),
 - Bornes internes: bornes qui peuvent influencer l'impédance des bornes DI et qui se trouvent à l'intérieur du CI (au niveau de la puce).

- IB: Composant IB (Immunity Behaviour – comportement d'immunité) qui décrit la manière dont le CI réagit aux perturbations appliquées (en référence à une borne de terre du PDN). Le critère d'immunité est défini sur des bornes appelées sorties observables (OO – Observable Output). Ces sorties observables peuvent être associées ou pas aux différentes DI, selon la configuration du CI.

NOTE 1 Les bornes DI, DO, OO et GND sont des bornes externes et sont interfacées au niveau de la broche. Ces broches se connectent à l'environnement extérieur du CI.

NOTE 2 Les bornes OO relient le PDN à l'IB. Bien que ces bornes soient externes au CI et soient utilisées pour obtenir l'IB en surveillant le critère d'immunité, elles sont virtuellement représentées (en interne) sur le PDN du macromodèle ICIM-CI.

La Figure 1 représente un exemple de structure de modèle ICIM-CI.

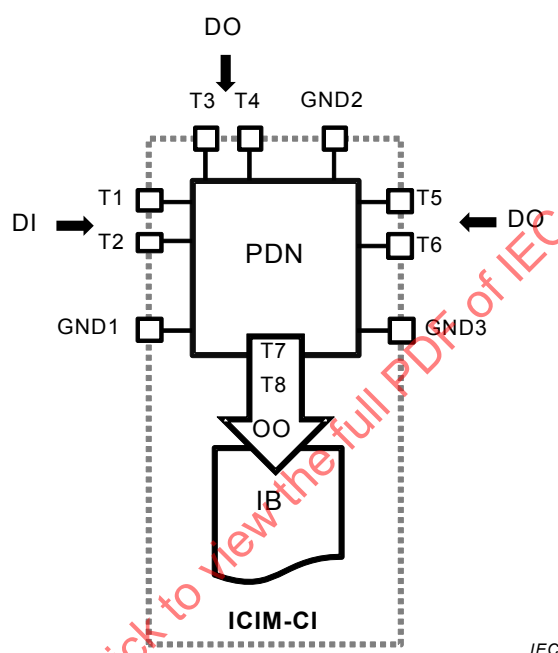


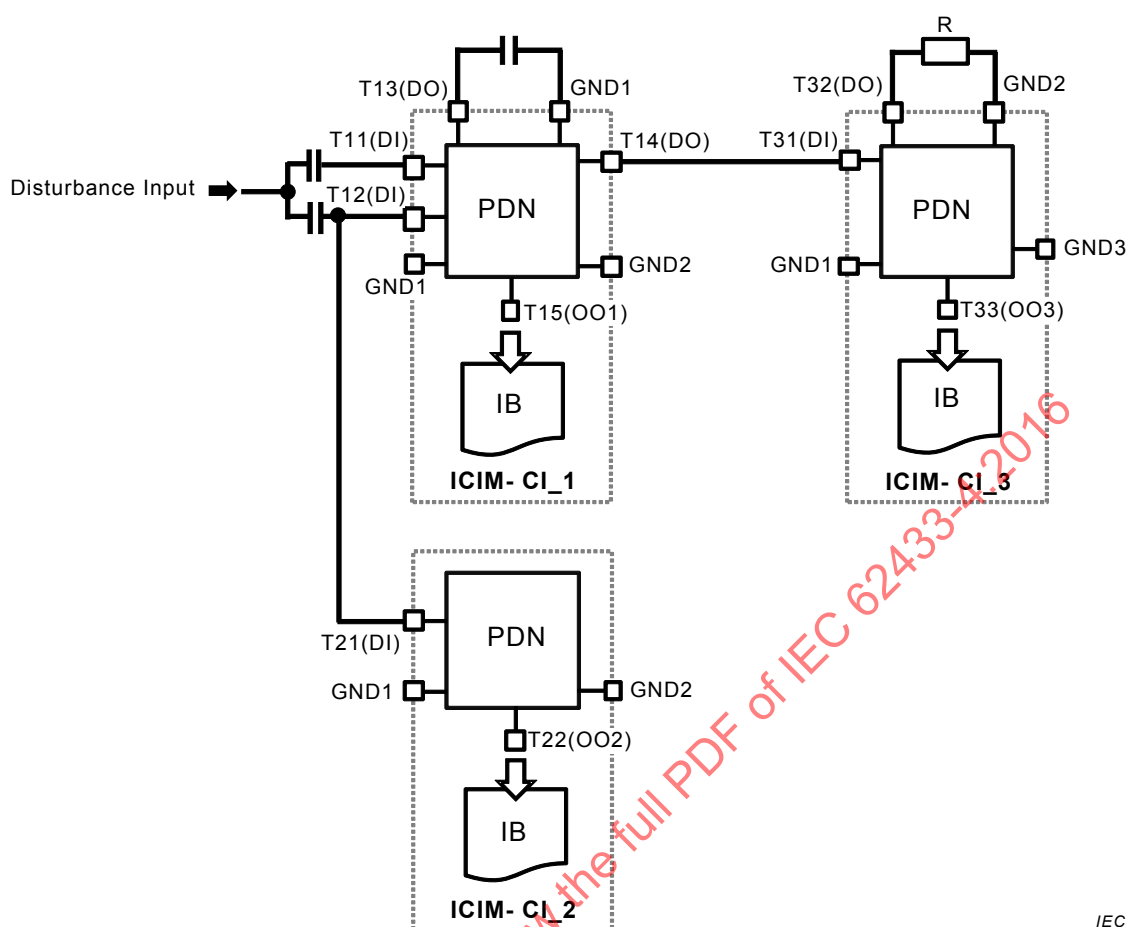
Figure 1 – Exemple de structure de modèle ICIM-CI

Il n'existe aucune connexion électrique directe entre le bloc PDN et le bloc IB. Le PDN représente l'impédance d'entrée de la DI. La puissance entrant dans la DI est calculée par simulation en fonction du PDN et de l'environnement extérieur. L'IB associe la puissance entrant dans la DI à un critère d'immunité surveillé au niveau de la sortie observable (OO). L'IB est obtenu en mesurant l'immunité du CI, en surveillant la borne OO.

Selon les conditions de fonctionnement et la stabilité du CI, des bornes DO peuvent être présentes. Un exemple est représenté à l'Annexe B.

Différents modèles ICIM-CI peuvent être combinés pour modéliser et décrire un système électronique complet (une carte électronique, par exemple). Cette structure proposée peut également être utilisée pour modéliser un élément d'équipement. La borne DO d'un modèle ICIM-CI peut être utilisée pour la connexion aux différentes bornes des blocs ICIM-CI avoisinants.

La Figure 2 donne un exemple de modèle ICIM-CI complet d'une carte électronique. La carte est intégralement décrite par trois modèles ICIM-CI autonomes. T12 et T21 sont connectés ensemble et reçoivent les mêmes perturbations. ICIM-CI_1 propage une partie de ses perturbations au modèle ICIM-CI_3 par l'intermédiaire de sa borne T14 (DO), qui est connectée à la borne T31 (DI) du modèle ICIM-CI_3.



IEC

Anglais	Français
Disturbance Input	Entrée de perturbation

Figure 2 – Exemple d'un modèle ICIM-CI d'une carte électronique

La plage de fréquences valides du modèle ICIM-CI est la même que celle des données (simulation ou mesurage) utilisées pour obtenir le PDN et les parties IB.

5.2 Description du PDN

Le PDN est composé d'éléments passifs pour le boîtier, la liaison ou les interconnexions sur puce. Il représente le réseau d'entrée de la puissance et les broches de signal de la puce. Le PDN est un réseau d'impédance complet contenant des bornes d'injection d'entrée (DI), des bornes qui peuvent avoir une influence sur l'impédance des bornes perturbées (DO) et des bornes internes. Le PDN peut contenir des composants linéaires et non linéaires (une résistance, une capacité et une protection par diode contre les décharges électrostatiques, par exemple). Toutefois, les données PDN sont définies lorsque les composants non linéaires ne sont pas activés.

Le PDN caractérise le trajet de couplage pour les perturbations radioélectriques, qui peut faire l'objet d'un filtrage ou d'une distorsion. Son impédance peut varier de manière importante en fonction de la fréquence.

Le PDN est défini dans le domaine fréquentiel et peut être caractérisé par différents paramètres de réseau, tels que:

- $Z(f)$: Impédance, qui est le rapport de la tension sur le courant à l'entrée de perturbation du PDN. Il représente le schéma électrique de l'impédance d'entrée passive, souvent

composé d'éléments parasites et exprimé au moyen de la résistance (R), de l'inductance (L) et du condensateur (C).

- b) $Y(f)$: Admittance, qui est l'inverse de $Z(f)$.
- c) $S(f)$: paramètre S , qui est le rapport de l'onde de tension inverse sur l'onde de tension directe à l'entrée de perturbation du PDN. Ce paramètre est en général utilisé pour mesurer les caractéristiques des accès par les bornes de signaux radioélectriques.

La conversion entre les trois types de paramètres est décrite à l'Annexe C. La plage de fréquences de validité du PDN est définie par les conditions de mesure.

Le PDN peut également être décrit comme un circuit utilisant une liste d'interconnexions (netlist) de type SPICE.

Un CI peut comporter plusieurs broches conçues de manière identique et présentant les mêmes caractéristiques (similaires). Par conséquent, pour réduire le nombre de DI à modéliser (pour des raisons de simplification), les broches d'un CI peuvent être classées en familles, telles que:

- a) Broches d'alimentation,
- b) Broches d'entrée/sortie numériques,
- c) Broches d'entrée/sortie analogiques,
- d) Bus de données/d'adresses,
- e) Bus de communication.

Pour les CI complexes, il peut être essentiel de modéliser le PDN sous la forme de blocs différents pour une meilleure représentation et une plus grande facilité de compréhension. Ces blocs peuvent être couplés en interne dans le CI. Par exemple, un CI peut contenir un bloc numérique et un bloc analogique avec différentes bornes de terre (qui peuvent être connectées en interne), et d'autres bornes couplées à l'intérieur du CI. Ce phénomène de couplage peut être modélisé à l'aide d'un réseau IBC (Inter-Block Coupling – Couplage interbloqs). Une description détaillée d'un réseau IBC est présentée en 5.3.

Le PDN décrit le comportement linéaire du dispositif. Les effets non linéaires ne sont pas pris en compte dans le PDN du macromodèle ICIM-CI. Par conséquent, il convient de mesurer l'impédance dans les conditions de fonctionnement classiques, en régime établi. Le PDN proposé du modèle ICIM-CI est limité à un niveau ne permettant pas de déclencher les dispositifs de protection. L'activation des dispositifs de protection internes induirait la non-linéarité dans la définition de modèle, qui n'est pas prise en compte dans le PDN. Toutefois, les effets non linéaires sont naturellement pris en compte dans l'IB (voir 5.4).

Le PDN peut agir comme un filtre pour les perturbations radioélectriques. Des résonances du PDN peuvent apparaître en raison d'éléments capacitifs et inductifs parasites. Des résonances peuvent également être créées par des composants externes montés sur les broches DI et DO pour le fonctionnement du CI. Elles peuvent avoir un impact important sur l'immunité des dispositifs. Le PDN peut arrêter, transmettre ou amplifier les perturbations, et il peut avoir une influence sur l'immunité du dispositif.

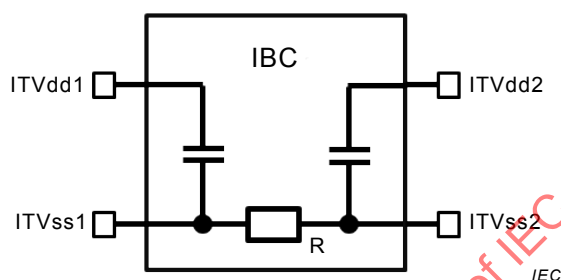
Le PDN est valide dans les conditions dans lesquelles il a été établi. Ces conditions incluent (sans toutefois s'y limiter):

- a) la plage de tensions d'alimentation
- b) la plage de fréquences applicables
- c) la plage de températures
- d) les conditions de charge applicables sur les broches DI et/ou DO

Le comportement d'impédance du PDN permet de déterminer la puissance transmise dans la partie active des dispositifs, représentée par le modèle IB. La puissance transmise au niveau de la broche est considérée comme étant liée à la défaillance à l'intérieur du dispositif.

5.3 Description du couplage interblochs (IBC)

Un couplage interblochs (IBC – Inter-Block Coupling) est un réseau d'éléments passifs qui présente un effet de couplage entre différents blocs PDN. L'IBC est donc une partie du sous-modèle PDN. L'IBC est équipé d'au moins deux bornes internes et peut assurer l'interface avec les bornes internes des blocs PDN. Ces blocs peuvent être utilisés pour modéliser les phénomènes de couplage entre les différentes bornes de terre du CI, les pertes de substrat, les inductances mutuelles au niveau de la puce, l'isolement entre les bornes internes de terre et de puissance, etc. Un exemple de réseau IBC est représenté à la Figure 3.



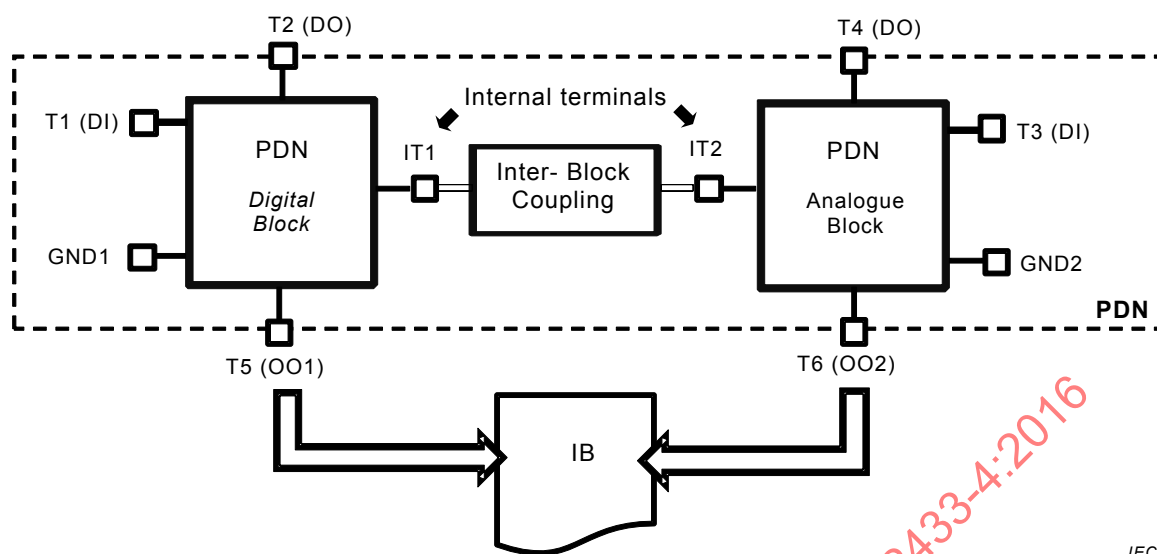
NOTE ITVdd1, ITVss1, ITVdd2 et ITVss2 sont des nœuds internes.

Figure 3 – Exemple de réseau IBC

Dans cet exemple (voir la Figure 3), les deux condensateurs modélisent les propriétés diélectriques, et les deux résistances les propriétés résistives du substrat. D'autres propriétés peuvent être modélisées à l'aide d'autres réseaux IBC complexes.

Toutes les spécifications et conditions décrites pour le PDN en 5.2 sont valides pour l'IBC.

Une structure de blocs, utilisant des composants IBC, est représentée à la Figure 4. Le modèle est constitué de différents composants de bloc PDN et de composants IBC constituant le sous-modèle PDN.



IEC

Anglais	Français
Digital Block	Bloc numérique
Internal terminals	Bornes internes
Inter-Blocking Coupling	Couplage interblochs
Analogue Block	Bloc analogique

Figure 4 – Représentation du modèle ICIM-CI avec différents blocs

5.4 Description de l'IB

L'IB couvre à la fois la réponse en fréquence du CI dans la bande et hors bande, représentée par un deuxième sous-modèle. La sortie d'informations provenant de l'IB via une ou plusieurs sorties observables (OO) décrit la réponse du CI à un signal perturbateur appliqué à au moins une DI. Il convient que l'IB contienne des paramètres tels que la fréquence, la puissance transmise et les variations d'une ou de plusieurs sorties observables (OO). La non-linéarité inhérente induisant le dysfonctionnement est prise en compte dans l'IB. Selon la manière dont la sortie observable est soumise à l'essai, les données IB peuvent être obtenues en utilisant des critères d'essai de réussite/échec ou de non-réussite/échec.

Comme le suggère le nom, dans les essais de réussite/échec, le défaut de la sortie observable (OO) est directement soumis à l'essai en fonction de limites spécifiées par l'utilisateur. En conséquence, il existe un sous-modèle IB dédié par critère de susceptibilité. Dans les essais de non-réussite/échec, les défauts observés ne sont pas quantifiés comme réussite/échec (pas d'essai en fonction de limites définies par l'utilisateur). Il représente l'aspect lié au comportement de la sortie observable en fonction de la puissance transmise sans limites spécifiées. Par conséquent, le sous-modèle IB concerné est plus générique et doit contenir des données suffisantes pour couvrir la plupart des cas d'utilisation pratiques. Les critères d'immunité peuvent être appliqués à la sortie observable par l'utilisateur du modèle de CI à un stade ultérieur de la simulation ou de l'utilisation du modèle.

Comme indiqué en 5.2, le PDN et l'IBC influencent le sous-modèle IB. Par conséquent, l'IB d'un modèle ICIM-CI est valide dans les conditions dans lesquelles il a été établi. Les conditions classiques incluent (sans toutefois s'y limiter):

- la plage de tensions d'alimentation
- la plage de fréquences applicables
- la plage de températures

- d) les conditions de charge applicables (par conséquent les conditions de polarisation) sur la/les broche(s) DI et/ou DO
- e) les critères d'essai d'immunité appliqués sur la/les broche(s) OO

La taille des échelons de fréquence et la plage de fréquences définissant les données IB doivent être conformes à l'IEC 62132-1. Les fréquences critiques (les fréquences d'horloge et les fréquences du système des dispositifs RF, par exemple) doivent être soumises à des essais en utilisant des échelons de fréquence plus courts, comme convenu par les utilisateurs de cette procédure. La plage de fréquences de validité du sous-modèle IB est donc la même que celle des données (simulation ou mesurage) utilisées pour obtenir l'IB.

6 Format CIML

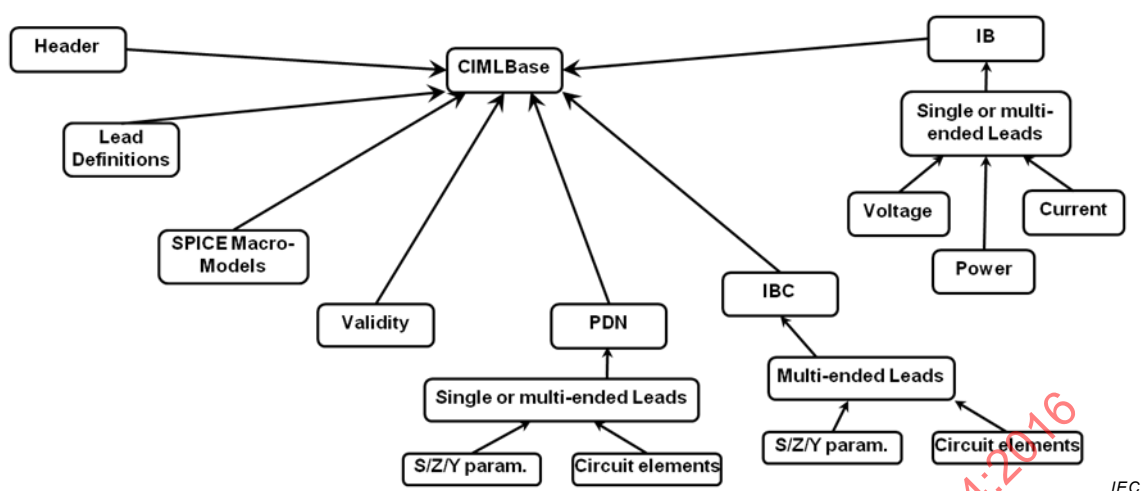
6.1 Généralités

Les données du modèle ICIM-CI sont disposées au format XML, désormais appelé Conducted Immunity Markup Language (CIML). Les données du modèle sont séparées en sept parties:

- a) En-tête, contenant les informations générales
- b) Description des définitions de connexion du CI
- c) Description des macromodèles SPICE pour utilisation dans les données PDN
- d) Description des conditions de validité du modèle
- e) Description des données PDN
- f) Description des données IBC
- g) Description des données IB

La hiérarchie d'héritage est décrite à la Figure 5.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62433-4:2016



IEC

Anglais	Français
Header	En-tête
Lead Definitions	Définitions de connexion
SPICE Macro-Models	Macromodèles SPICE
Validity	Validité
Voltage	Tension
Current	Courant
Power	Puissance
Single or multi-ended leads	Connexions asymétriques ou multipoints
Multi-ended leads	Connexions multipoints
S/Z/Y param.	Paramètre S/Z/Y
Circuit elements	Éléments de circuit

Figure 5 – Hiérarchie d'héritage CIML

Le niveau supérieur d'une définition de modèle CIML est simplement constitué de ces composants:

```

début de la définition de modèle
définition d'en-tête du modèle
Définitions de connexion du DUT
macromodèles SPICE
conditions de validité du modèle
modèle PDN
modèle IBC
modèle IB
fin de la définition de modèle
  
```

Ce format d'échange utilise XML (eXtensible Markup Language) 1.0 (quatrième édition) pour structurer les informations [1]. XML est dérivé de SGML (Standard Generalized Markup Language – Langage normalisé de balisage généralisé) (ISO 8879:1986).

Les règles de codage XML présentées à l'Annexe A assurent que le fichier XML (CIML) peut être correctement analysé par un analyseur syntaxique CIM (Conducted Immunity Model – Modèle d'immunité conduite). Un exemple de fichier CIML conforme au format de codage XML est donné à l'Annexe D.

6.2 Structure CIML

Le modèle ICIM-CI classique doit être représenté au format CIML (voir ci-dessous):

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<CImodel>
  <!-- HEADER -->
  <Header>
    ...
  </Header>
  <!-- DUT LEAD DEFINITIONS-->
  <Lead_definitions>
    ...
  </Lead_definitions>
  <!-- SPICE MACRO-MODEL DEFINITIONS -->
  <Macromodels>
    ...
  </Macromodels>
  <!-- MODEL VALIDITY CONDITIONS -->
  <Validity>
    ...
  </Validity>
  <!-- MODEL PDN DATA -->
  <Pdn>
    ...
  </Pdn>
  <!-- MODEL IBC DATA -->
  <Ibc>
    ...
  </Ibc>
  <!-- MODEL IB DATA -->
  <Ib>
    ...
  </Ib>
</CImodel>
```

Le format CIML s'appuie sur la représentation XML. Les règles de codage XML de l'Annexe A sont applicables pour la structure CIML. Les mots clés CIML et leurs règles d'utilisation sont détaillés à l'Annexe E.

Les sections *Header*, *Lead_definitions*, *Validity*, *Pdn* et *Ib* constituent les informations minimales et obligatoires du modèle ICIM-CI. Les sections *Macromodel* et *Ibc* sont facultatives.

6.3 Mots clés globaux

Les sections *Documentation*, *Notes*, *Unit* sont des mots clés globaux et peuvent être placées n'importe où dans le fichier, sauf dans un élément contenant une valeur. Voir 0 pour de plus amples informations relatives à leur utilisation.

6.4 Section Header

Les lecteurs peuvent s'interroger sur les motivations expliquant la présence d'une section Header indépendante. Une approche plus simple permettant de créer les informations d'en-tête consisterait à toutes les placer directement au niveau supérieur sous <CImodel> ... </CImodel>. Il a plutôt été choisi de les regrouper dans l'élément XML <Header>, cela permettant d'organiser les composants et de faciliter la lecture visuelle des définitions de modèle. Il est donc proposé de définir les informations d'en-tête dans la balise *Header*. Les détails minimaux sont le numéro de version du modèle, le nom de fichier et le numéro de

version du fichier. Les autres contenus d'en-tête sont librement dimensionnés, donnant des informations telles que:

- la référence du DUT
- le nom de l'auteur
- la date
- la méthode de mesure
- les droits d'auteur
- l'avis de non-responsabilité
- la documentation

Un exemple de section Header est présenté ci-dessous:

```
<Header>
  <Cim_ver>1.0</Cim_ver>
  <Filename>ExampleICIMCI_file.ciml</Filename>
  <File_ver>1.0</File_ver>
  <Author_name>Valeo 1</Author_name>
  <Dut>LINTRCV</Dut>
  <Date> 1 octobre 2012</Date>
  <Meas_method>DPI</Meas_method>
</Header>
```

Une liste détaillée de mots clés valides sous la section *Header* est disponible en 0.

6.5 Lead definitions (définitions des connexions)

Cette section décrit les différentes connexions (ou broches) du CI en essai. Chaque connexion de la section *Lead_definitions* est créée à l'aide de la balise *Lead*, dont la définition est présentée au Tableau 1. Plusieurs structures *Lead* sont répertoriées l'une après l'autre pour former la structure *Lead_definitions*.

Tableau 1 – Attributs du mot clé *Lead* dans la section *Lead_definitions*

<i>Lead</i>
Id: Identité de la broche sous forme d'une chaîne valide (exigé) Name: Nom de la broche comme indiqué dans la fiche technique (facultatif). Valeur par défaut = "None" Mode: Mode dans lequel la broche est utilisée pour ICIM-CI ("DI", "DO", "OO", " GND"). Voir 5.1. Valeur par défaut = "None" Type: Type de connexion ("internal" ou "external") (facultatif). Valeur par défaut = "external"

Chaque structure *Lead* de la section *Lead_definitions* comporte un champ exigé, *Id*, représentant l'identité de la connexion. La connexion peut être en outre définie par son nom (*Name*), son *Mode* et son *Type*. Si le champ *Name* n'est pas défini ou est absent, sa valeur par défaut est "None". Le champ *Mode* est considéré comme contenant la valeur "None" dans les conditions suivantes:

- Si le *Mode* d'une broche particulière est absent
- Si la valeur "None" lui est explicitement attribuée, la broche respective n'étant pas DI, DO, OO ou GND.

Le champ *Type* est facultatif, et sa valeur est toujours considérée comme "external" pour les broches de mode DI, DO, OO et GND. Le type de connexion peut également être "internal" pour assurer l'interface de différents blocs du PDN ICIM-CI (voir la Figure 4). Ces broches doivent être définies avec *Mode*="None". Ces connexions sont dédiées à l'interface du réseau

de couplage inter-blocs (voir 5.3 pour de plus amples informations relatives à la description IBC).

Si une broche est utilisée dans plusieurs modes, les différents modes sont représentés sous la forme d'un seul champ séparé par une virgule (","). Aucun autre caractère n'est admis en tant que délimiteur. Un exemple est présenté ci-dessous:

```
<Lead Id="1" Name="T1" Mode="DI,OO"/>
```

La ligne ci-dessus indique à l'analyseur syntaxique CIM que la connexion "T1" avec Id="1" est utilisée en tant que DI et OO. Par défaut, la connexion est une borne externe (Type="external").

Le Tableau 2 présente la compatibilité entre le champ *Mode* et le champ *Type* de la structure *Lead* pour que l'analyseur syntaxique CIM puisse procéder à une annotation CIML correcte.

Tableau 2 – Compatibilité entre le champ *Mode* et le champ *Type* pour annotation CIML correcte

Mode	Type	
	external	internal
DI	Oui	Non
DO	Oui	Non
OO	Oui	Non
GND	Oui	Non
None (Aucun)	Oui	Oui

Les différentes bornes décrites en 5.1 (voir la Figure 1) sont représentées dans un format compact (voir ci-dessous):

```
<Lead_definitions>
  <Lead Id="1" Name="T1" Mode="DI"/>
  <Lead Id="2" Name="T2" Mode="DI"/>
  <Lead Id="3" Name="T3" Mode="DO"/>
  <Lead Id="4" Name="T4" Mode="DO"/>
  <Lead Id="5" Name="T5" Mode="DO"/>
  <Lead Id="6" Name="T6" Mode="DO"/>
  <Lead Id="7" Name="GND1" Mode="GND"/>
  <Lead Id="8" Name="GND3" Mode="GND"/>
  <Lead Id="9" Name="T7" Mode="OO"/>
  <Lead Id="10" Name="T8" Mode="OO"/>
  <Lead Id="11" Name="GND2" Mode="GND"/>
</Lead_definitions>
```

Les lignes de code ci-dessus représentent la structure du modèle ICIM-CI représentée à la Figure 1. Les identités des broches ("Id") sont choisies de manière aléatoire. Noter que ces définitions de broches sont utilisées à titre d'exemple tout au long de la présente partie de l'IEC 62433, sauf spécification contraire.

6.6 Macromodèles SPICE

Cette section décrit les différents macromodèles SPICE au format netlist (liste d'interconnexions). Ces sous-circuits sont référencés dans la balise *Pdn* de la section *Netlist* (voir 6.8.3.4 et 6.8.3.5). Chaque macromodèle SPICE de la section *Macromodels* est défini à

l'aide de la balise *Subckt*, dont la définition est présentée au Tableau 3. La présence de cette section dans un champ CIML est facultative.

Tableau 3 – Définition *Subckt*

<i>Subckt</i>
Name: Nom du macromodèle SPICE (exigé)
Nodes: Nœuds externes assurant la connexion au circuit principal (exigé)
Kind: Format netlist de SPICE (facultatif), valeur par défaut: "SPICE3"
Data_files: Macromodèle SPICE défini dans un fichier externe (facultatif)

Le mot clé *Subckt* contient deux champs exigés: *Name* et *Nodes*. Le champ *Name* est composé de lettres et de numéros définis en A.2.5.4. Le champ *Nodes* définit les nœuds externes qui assurent la connexion à l'extérieur du sous-circuit, c'est-à-dire les nœuds par lesquels l'élément de sous-circuit se connecte au circuit principal. Les différents nœuds externes sont définis dans l'ordre et séparés par une virgule (","), Ils appartiennent strictement à la définition de macromodèle SPICE. Ces nœuds peuvent être identifiés par des numéros ou des lettres.

L'attribut facultatif *Kind* indique à l'analyseur syntaxique CIM que le sous-circuit défini (macromodèle SPICE) suit une syntaxe particulière. CIML version 1 prend en charge les syntaxes de Netlist de type SPICE de norme industrielle.

La valeur par défaut du champ *Kind* est "SPICE3" en l'absence de champ. Un exemple d'élément *Subckt* est présenté ci-dessous:

```
<Subckt Name="PDN_pin1" Nodes="Node1,Node2,Node3" Kind="SPICE3">
  C1 Node1 int1 20e-9
  L1 int1 int2 9e-9
  R1 int2 Node2 230e-3
  R2 Node2 Node3 100e-3
</Subckt>
```

Pour des raisons de compatibilité entre les types SPICE, "0" n'est pas admis en tant que nœud externe. Les différents éléments de sous-circuit sont répertoriés les uns après les autres pour former la section *Macromodels*. L'exemple ci-dessous représente la représentation classique de la section *Macromodels*:

```
<Macromodels>
  <Subckt Name="PDN_pin1" Nodes="Node1,Node2,Node3">
    ...
  </Subckt>
  <Subckt Name="PDN_pin2" Nodes="Node1,Node2,Node3">
    ...
  </Subckt>
  ...
</Macromodels>
```

Une fois définis, les différents sous-circuits sont utilisables n'importe où dans les balises *Pdn* et *Ibc* à l'aide d'un identifiant commençant par le caractère "X". L'appel doit être réalisé dans la section *Netlist* et est référencé à l'aide du champ *Name* (voir 6.8.3.4 et 6.8.3.5). Le nombre de nœuds sur la ligne d'appel doit correspondre au nombre figurant dans la ligne d'attribut *Nodes* du sous-circuit concerné. Par exemple, le "PDN_pin1" défini ci-dessus peut être appelé:

```
<Pdn>
  ...
  <Lead Id="1 2 7" Type="Ckt">
```

```

...
<Netlist>
    Xpin1 1 2 7 PDN_pin1
</Netlist>
</Lead>
...
</Pdn>

```

Si au moins un modèle de sous-circuit est défini dans un fichier de bibliothèque externe, le ou les fichiers sont référencés à l'aide de la balise *Data_files*. Par exemple:

```

<Macromodels>
  <Subckt Kind="SPICE3">
    <Data_files>
      subckt_pin1.lib
      subckt_pin2.lib
      ...
    </Data_files>
  </Subckt>
</Macromodels>

```

Une définition de sous-circuit classique est représentée à la Figure 6.

```

*Netlist file created on Fri 27 Nov 2012
*Time: 12:01:27
*PDN macro-model model of PIN1 with respect to GND1
.Subckt Pin1_PDN N1 N2
C1 N1 int1 20e-9
L1 int1 int2 9e-9
R1 int2 N2 230e-3
.ends

```

IEC

Anglais	Français
Netlist file created on Fri 27 Nov 2012	Fichier Netlist créé le vendredi 27 novembre 2012
PDN macro-model of PIN1 with respect to GND1	Macromodèle PDN de PIN1 par rapport à GND1

Figure 6 – Exemple de fichier netlist définissant un sous-circuit

Pour éviter toute ambiguïté, le CIM analyse uniquement les instructions de données définies dans les mots clés SPICE: ".SUBCKT" et ".ENDS". Ces mots clés ne sont pas sensibles à la casse. Si plusieurs sections ".SUBCKT" sont détectées, elles sont analysées comme des éléments de sous-circuit indépendants.

Ces définitions partageant le même espace de noms dans le format CIML, chaque sous-circuit doit porter un nom unique et respecter les règles XML présentées en A.2.5.4.

6.7 Section Validity

6.7.1 Généralités

La section *Validity* permet de représenter les conditions dans lesquelles le modèle ICIM-CI est défini. Cette section est donnée à l'utilisateur à titre strictement informatif et est indépendante de toutes les autres sections du fichier CIML.

Le Tableau 4 répertorie les différents mots clés reconnus de la section *Validity*.

Tableau 4 – Définition de la section *Validity*

<i>Validity</i>
Power_supply: Plage d'alimentations électriques, sous forme de chaîne (exigé)
Frequency_range: Plage de fréquences, sous forme de chaîne avec des unités (exigé)
Temperature_range: Plage de températures dans laquelle le modèle est extrait (exigé). À spécifier avec les unités.

Cette définition n'est pas exhaustive et peut faire l'objet d'améliorations.

La documentation relative au CI (les fiches techniques, les rapports d'essai et le rapport d'extraction ICIM-CI, par exemple) doit être spécifiée avec le mot clé global *Documentation* sous la forme d'une chaîne valide qui spécifie le chemin vers la documentation correspondante. Plusieurs chemins de fichier peuvent être présentés les uns sous les autres. Sa valeur par défaut est "None" en l'absence de valeur spécifiée. Voir 0 pour de plus amples informations relatives à l'utilisation du mot clé *Documentation*.

D'autres détails spécifiques relatifs à la définition complète de modèle ICIM-CI doivent être définis avec la section *Notes* sous la forme d'une chaîne valide. Sa valeur par défaut est "None" en l'absence de valeur spécifiée. Voir 0 pour de plus amples informations relatives à l'utilisation du mot clé *Notes*.

Cette section est obligatoire et est définie directement sous l'élément racine *CImodel*. Par exemple:

```
<CImodel>
...
  <Validity>
    <Power_supply>12V</Power_supply>
    <Frequency_range>[1MHz - 1GHz]</Frequency_range>
    <Temperature_range>25Celsius</Temperature_range>
    <Notes>Réseau LIN uniquement</Notes>
  </Validity>
...
</CImodel>
```

6.7.2 Définitions d'attributs

6.7.2.1 *Power_supply*

L'attribut *Power_supply* est utilisé pour définir les conditions d'alimentation pour lesquelles ICIM-CI est valide. Cet attribut informe l'utilisateur que le modèle ICIM-CI est extrait dans la plage d'alimentation spécifiée.

La définition de la valeur de cet attribut ne fait l'objet d'aucun format particulier. Il doit être aisément compréhensible pour la bonne utilisation du modèle. La valeur de cet attribut est une chaîne de données contenant une chaîne de texte valide et/ou des valeurs numériques avec des unités. Voir A.2.5.5 pour les unités valides.

Il s'agit d'un champ exigé.

Quelques exemples du champ *Power_supply* sont présentés de l'Exemple 1 à l'Exemple 3.

EXEMPLE 1 La syntaxe ci-dessous spécifie que le modèle est défini pour une tension d'alimentation de 5 V.

```
<Power_supply>5V</Power_supply>
```

EXEMPLE 2 La syntaxe suivante spécifie que les blocs numériques des données de modèle sont définis avec une tension d'alimentation de 5 V et que les blocs analogiques sont définis pour une tension d'alimentation de 12 V.

```
<Power_supply>5 V pour les blocs numériques, 12 V pour les blocs
analogiques</Power_supply>
```

EXEMPLE 3 Les syntaxes suivantes spécifient que le modèle est défini pour des tensions d'alimentation comprises entre 2,5 V et 18 V.

```
<Power_supply>[2.5V-18V]</Power_supply>
ou
<Power_supply>entre 2.5 V et 18 V</Power_supply>
```

6.7.2.2 Frequency_range

L'attribut *Frequency_range* est utilisé pour définir la plage de fréquences dans laquelle ICIM-CI est valide. Cet attribut informe l'utilisateur que le modèle ICIM-CI est extrait dans la plage de fréquences spécifiée et est utilisable dans la même plage. La plage de fréquences de validité du modèle ICIM-CI doit être la plage de fréquences commune du PDN et de l'IB.

La définition de la valeur de cet attribut ne fait l'objet d'aucun format particulier. Il doit être aisément compréhensible pour la bonne utilisation du modèle. La valeur de cet attribut est une chaîne de données contenant une chaîne de texte valide et/ou des valeurs numériques avec des unités (voir l'Exemple 1). Voir A.2.5.5 pour les unités valides.

Il s'agit d'un champ exigé.

EXEMPLE 1 Les syntaxes suivantes spécifient que le modèle est valide dans la plage de fréquences comprises entre 1 MHz et 1 GHz.

```
<Frequency_range>[1MHz-1GHz]</Frequency_range>
ou
<Frequency_range>entre 1 MHz et 1 GHz</Frequency_range>
```

6.7.2.3 Temperature_range

L'attribut *Temperature_range* est utilisé pour définir la plage de températures dans laquelle ICIM-CI est extrait. La plage de températures de validité du modèle ICIM-CI doit être la plage de températures commune du PDN et de l'IB.

La définition de la valeur de cet attribut ne fait l'objet d'aucun format particulier. Il doit être aisément compréhensible pour la bonne utilisation du modèle. La valeur de cet attribut est une chaîne de données contenant une chaîne de texte valide et/ou des valeurs numériques avec des unités. Voir A.2.5.5 pour les unités valides.

Il s'agit d'un champ exigé.

Deux exemples sont présentés (Exemple 1 et Exemple 2).

EXEMPLE 1 Les syntaxes suivantes spécifient que le modèle est valide dans la plage de températures comprises entre 20 °C et 40 °C.

```
<Temperature_range>[20Celsius-40Celsius]</Temperature_range>
ou
<Temperature_range>entre 20Celsius et 40Celsius</Temperature_range>
```

EXEMPLE 2 La syntaxe suivante spécifie que le modèle est défini uniquement à 298,15 K.

```
<Temperature_range>298.15K</Temperature_range>
```

6.8 PDN

6.8.1 Généralités

La section *Pdn* du modèle ICIM-CI contient les données PDN qui décrivent le modèle. Les données doivent être définies dans le mot clé *Pdn* comme suit:

```
<Pdn>
  Données PDN
</Pdn>
```

Différents niveaux de complexité du PDN peuvent être pris en compte. Le niveau de configuration le plus simple est l'entrée asymétrique de perturbation. L'entrée différentielle de perturbation peut également être envisagée.

Le niveau de configuration le plus complexe est la configuration multiaccès.

Une donnée PDN est définie pour une broche CI particulière. La définition doit donc être réalisée dans une balise *Lead*. Voir la Figure 5 pour la hiérarchie structurale. De nombreux éléments *Lead* peuvent être répertoriés les uns sous les autres dans la section *Pdn*. Le Tableau 5 répertorie les différents champs reconnus du mot clé *Lead*:

Tableau 5 – Définition du mot clé *Lead* pour la section *Pdn*

<i>Lead</i>
Id : Identité de la broche sous forme d'une chaîne valide (exigé)
Ground_id : Renvoie l'identité de la broche sous la forme d'une chaîne valide (exigée si Type=("S", "Z", "Y", sinon facultatif)
Blockname : Nom du bloc PDN sous la forme d'une chaîne valide
Type : Paramètre source PDN ("S", "Z", "Y", "Ckt")
Param_order : Ordre dans lequel les paramètres PDN sont définis
Format : Format de données ("RI", "MA", "DB")
Meas_type : Méthode mise en œuvre pour procéder aux mesurages PDN
Reference_impedance : Impédance de référence utilisée dans la réalisation des mesurages PDN
Use : Paramètre devant être utilisé de manière spécifique
Netlist : Définition du PDN utilisant le format netlist normalisé
Unit_freq : Définition de l'unité des termes de fréquence
Unit_param : Unité des paramètres PDN
Power_level : Niveau de puissance du mesurage lors de l'extraction PDN
Data_files : Paramètre source PDN défini dans un fichier externe (exigé s'il ne s'agit pas de List)
List : Liste de paramètres PDN (exigé s'il ne s'agit pas de Data_files)

La plage de fréquences des informations PDN doit être spécifiée dans la section *Validity* au moyen de la balise *Frequency_range*.

NOTE La plage de fréquences de validité du modèle ICIM-CI est la plage de fréquences commune du PDN et de l'IB.

D'autres informations pertinentes exigées pour la bonne compréhension (et utilisation) du PDN doivent éventuellement être définies dans les balises *Notes* et *Documentation*. Les détails (le mode de fonctionnement du CI, les condensateurs de découplage sur les lignes d'alimentation, les fonctions activées, les détails de mise à la terre, les fiches techniques et les rapports d'essai, par exemple) peuvent être définis.

6.8.2 Définitions d'attributs

6.8.2.1 Id

Il convient de définir préalablement les attributs *Id* de *Lead* utilisés dans la définition du PDN dans la balise *Lead_definitions* (voir 6.5). Selon le type de PDN (asymétrique, différentiel ou multipoints), un ou plusieurs ID peuvent être définis ensemble. Les bornes externes et internes peuvent être spécifiées. Voir 6.8.4 et 6.8.5 pour de plus amples informations.

Il s'agit d'un champ exigé.

6.8.2.2 Ground_id

Il convient de définir préalablement l'attribut *Ground_id* de *Lead* utilisé dans la définition du PDN dans la balise *Lead_definitions* du mode GND (voir 6.5). Cette connexion représente le chemin du signal de retour pour la définition du PDN.

Cet attribut est défini uniquement si les paramètres de réseau sont utilisés pour définir le PDN (*Type*="S", "Z" ou "Y"). L'attribut *Ground_id* est ignoré par l'analyseur syntaxique CIM si *Type*="Ckt", c'est-à-dire si une netlist (liste d'interconnexions) est utilisée pour représenter le PDN. Voir 6.8.2.4 pour de plus amples informations relatives à l'attribut *Type*.

S'il est utilisé, un seul attribut *Ground_id* est admis par définition *Lead*. Ce champ est facultatif. Il est exigé si le PDN est représenté à l'aide de paramètres de réseau.

6.8.2.3 Blockname

Le champ *Blockname* est utilisé pour définir le nom du bloc PDN. Ce champ est facultatif et est utilisé pour représenter le PDN en tant que sous-bloc. Un macromodèle ICIM-CI à base de blocs est présenté à la Figure 4. Ce champ est indiqué à titre informatif uniquement. L'analyseur syntaxique CIM ne l'interprète pas.

6.8.2.4 Type

L'attribut *Type* est utilisé pour représenter le type de données PDN. Les types valides sont:

- "S": Données de paramètre *S*.
- "Z": Données de paramètre *Z*. Ces paramètres ne sont pas normalisés par rapport à l'impédance de référence.
- "Y": Données de paramètre *Y*. Ces paramètres ne sont pas normalisés par rapport à l'impédance de référence.
- "Ckt": Description de circuit à l'aide de netlists.

Ce champ est facultatif. En l'absence de champ, la valeur par défaut est "S".

6.8.2.5 Param_order

L'attribut *Param_order* indique à l'analyseur syntaxique CIM la manière dont les données sont représentées. Il n'est pas défini si le PDN est représenté comme un modèle de circuit (voir 6.8.3.4 et 6.8.3.5). Les chaînes suivantes sont dédiées à la spécification de l'ordre des paramètres:

- "Freq" et "Frequency": Fréquence utilisée pour la définition des paramètres
- "Sij": Paramètres *S*, *i* et *j* sont des entiers représentant les accès/broches de mesure (par exemple: "S11", "S21", "S31", etc.)
- "Zij": Paramètres *Z*, *i* et *j* sont des entiers représentant les accès/broches de mesure (par exemple: "Z11", "Z21", "Z31", etc.)

- "Yij": Paramètres Y , i et j sont des entiers représentant les accès/broches de mesure (par exemple: "Y11", "Y21", "Y31", etc.)

Les différents termes de l'attribut *Param_order* doivent être séparés par une virgule (",").

Ce champ est facultatif. En l'absence de champ, la valeur par défaut est "Freq,S11".

6.8.2.6 Format

L'attribut *Format* permet de choisir le format des données. Il n'est pas défini si le PDN est représenté comme un modèle de circuit (voir 6.8.3.4 et 6.8.3.5). Les formats de données valides sont:

- "RI": format réel/imaginaire
- "DB": Amplitude en échelle de décibels avec déphasage en degrés
- "MA": Amplitude en échelle linéaire avec déphasage en degrés

Ce champ est facultatif. En l'absence de champ, la valeur par défaut est "RI".

6.8.2.7 Meas_type

L'attribut *Meas_type* est utilisé par l'analyseur syntaxique CIM pour calculer l'impédance de la connexion spécifique ("Id") lorsque des paramètres S sont utilisés. Selon le type de PDN (asymétrique, différentiel ou multipoints), l'attribut *Meas_type* prend plusieurs définitions. Voir 6.8.4 et 6.8.5.

Ce champ est défini uniquement lorsque Type="S" et est facultatif. En l'absence de champ, la valeur par défaut est "0".

6.8.2.8 Reference_impedance

L'attribut *Reference_impedance* est utilisé par l'analyseur syntaxique CIM pour calculer l'impédance de la connexion spécifique ("Id") lorsque des paramètres de réseau sont utilisés pour la définition du PDN.

Ce champ est défini uniquement lorsque Type="S" et est facultatif. S'il est défini, il doit toujours être spécifié avec une valeur numérique et des unités décrites en A.2.5.3 (par exemple: "50ohm"). En l'absence de champ, sa valeur par défaut est "50ohm".

6.8.2.9 Use

L'attribut *Use* indique à l'analyseur syntaxique CIM d'utiliser l'une des valeurs de l'attribut *Param_order*. S'il est explicitement défini, le paramètre correspondant est utilisé comme PDN. S'il n'est pas défini, le premier terme S_{ij} , Z_{ij} ou Y_{ij} est utilisé par défaut.

6.8.2.10 Netlist

Le mot clé *Netlist* est utilisé pour définir le PDN sous la forme d'une netlist SPICE représentant la connectivité électrique des éléments PDN. Le flux de connectivité électrique doit être conforme à la spécification SPICE [2]. Une description détaillée du modèle de circuit est présentée en 6.8.3.4 et 6.8.3.5.

Ce champ est exigé si Type="Ckt".

6.8.2.11 Unit_freq et Unit_param

Les unités de paramètre sont définies dans les balises *Unit_freq* et *Unit_param* pour la fréquence et les données, respectivement. Si elles sont absentes, la valeur par défaut de

Unit_freq est l'unité de base "Hz". Le Tableau 6 présente la valeur par défaut de l'attribut *Unit_param* en fonction du type et du format de données, s'ils ne sont pas définis.

Tableau 6 – Formats valides de données et leurs unités par défaut dans la section *Pdn*

Type de données	Format de données	Valeurs de <i>Unit_param</i> par défaut
S	RI	1
	MA	1
	DB	dB
Z	RI	ohm
	MA	ohm
	DB	dBohm
Y	RI	S
	MA	S
	DB	dBs

Voir A.2.5.5 pour toutes les unités valides.

Ces champs sont facultatifs.

6.8.2.12 Power_level

Le niveau de puissance de mesure utilisé pour l'extraction PDN (voir 7.4.2) est spécifié dans le champ *Power_level*. Pour des raisons de simplicité, il convient de définir ensemble le niveau de puissance et les unités (voir A.2.5.3).

Ce champ est facultatif. En l'absence de champ, la valeur par défaut est "0dBm".

6.8.2.13 Data_files et List

La balise *Data_files* est utilisée pour distinguer les données en ligne et les données externes. Si les données PDN sont définies dans un fichier externe, le lien vers le fichier doit être spécifié dans la balise *Data_files*. Les données en ligne sont directement définies dans la balise *Lead* de niveau supérieur d'une balise *List*, le cas échéant. Les fichiers portant les extensions fournies au Tableau 7 sont admis.

Tableau 7 – Extensions de fichiers valides de la section *Pdn*

Extension de fichier	Nom commun
dat ou DAT	Fichier de données
csv ou CSV	Comma Separated Values (valeurs séparées par une virgule)
txt ou TXT	Fichier texte
snp ou SnP	Touchstone, n étant un entier (1, 2, ...)
cir ou CIR	Fichier de circuit (Netlist)
lib ou LIB	Fichier de bibliothèque (Netlist)
net ou NET	Fichier Netlist

La balise *List* n'est pas définie si le modèle de circuit est utilisé pour décrire le PDN. La balise *Data_files* est définie pour les paramètres de réseau (*S*, *Z* ou *Y*) et la description de la netlist.

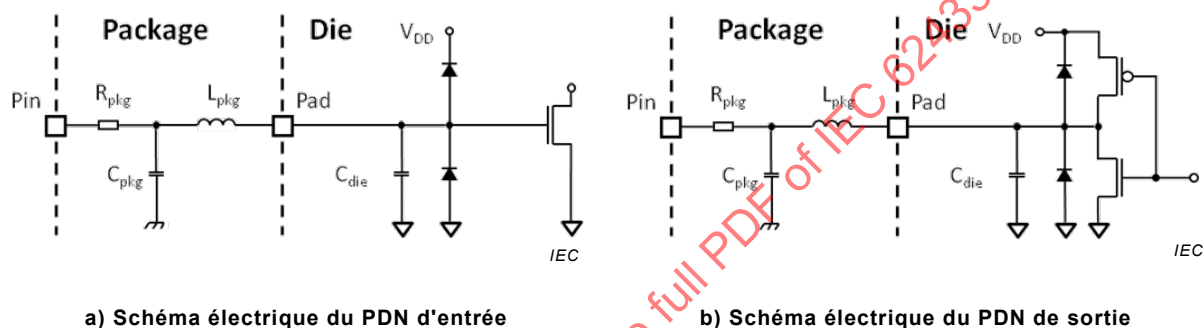
Ce champ est exigé. Un élément *List* ou *Data_files* unique doit être utilisé pour définir les données PDN de la connexion spécifique.

6.8.3 PDN pour entrée ou sortie asymétrique

6.8.3.1 Généralités

Une entrée ou sortie asymétrique correspond à une seule broche sur le CI. Dans ce cas, le signal est transporté sur une piste CCI. La piste du signal de retour est la mise électrique à la terre du CI. Différentes parties du PDN peuvent avoir différentes mises à la terre. Ces mises à la terre sont connectées ensemble à l'intérieur du dispositif ou par des connexions externes, qui ne sont pas nécessairement parfaites. Il convient de veiller à tenir compte de ces connexions lors de l'extraction du PDN.

La Figure 7 donne les schémas électriques classiques des broches d'entrée/de sortie asymétrique.



Légende

R_{pkg}	Résistance parasite du boîtier
L_{pkg}	Inductance parasite du boîtier
C_{pkg}	Capacité parasite du boîtier
C_{die}	Capacité parasite de la puce
Pin	Interface de la broche du CI au niveau du boîtier
Pad	Interface de la broche du CI au niveau de la puce
V_{DD}	Tension d'alimentation du CI

Anglais	Français
Package	Boîtier
Die	Puce
Pin	Broche
Pad	Pastille d'interconnexion

Figure 7 – Schémas électriques du PDN

Selon l'outil de simulation utilisé, le PDN peut être représenté avec différents paramètres de réseau (les paramètres S , Z et Y , par exemple) ou sous la forme d'un circuit/d'une netlist à l'aide des éléments physiques R , L et C .

La Figure 8 représente l'impédance du PDN représenté par une boîte noire à un accès.

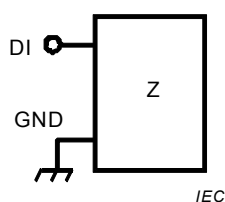


Figure 8 – PDN représenté sous la forme d'une boîte noire à un accès

Le Tableau 8 répertorie les champs valides d'une structure *Lead* pour la définition d'un PDN asymétrique, ainsi que leur utilisation.

Tableau 8 – Champs valides du mot clé *Lead* pour le PDN asymétrique

Champ	Description	Utilisation	Règles
Id	Identifiant ou numéro de broche	Exigé	ID unique préalablement défini dans la section <i>Lead-definitions</i>
Ground_id	Identifiant ou numéro de la broche du signal de retour	Exigé pour Type="S", "Z" ou "Y"	ID unique préalablement défini en tant que GND dans la section <i>Lead-definitions</i>
Blockname	Nom du composant de bloc PDN	Facultatif	Chaîne valide (voir 6.8.1)
Type	Paramètre source PDN (S/Z/Y/Circuit)	Facultatif	Chaîne valide: "S" (par défaut), "Z", "Y" ou "Ckt"
Param_order	Ordre dans lequel les paramètres sont définis	Facultatif	Chaîne valide (voir 6.8.1)
Format	Format de données	Facultatif	"RI" (par défaut), "DB" ou "MA"
Meas_type	Méthode mise en œuvre pour procéder aux mesurages PDN	Facultatif	"0" (par défaut), "1" ou "2"
Reference_impedance	Impédance de référence utilisée dans les mesurages PDN	Facultatif	Valeur numérique valide avec unités. Valeur par défaut = "50ohm"
Use	Paramètre devant être utilisé de manière spécifique	Facultatif	L'une des valeurs de Param_order autre que le terme Frequency. Par défaut: Premier terme S, Z ou Y
Netlist	Netlist de type SPICE	Exigé si Type="Ckt"	Instructions valides de données de type SPICE. Voir 6.8.3.4 et 6.8.3.5
Unit_freq	Unités de fréquence	Facultatif	Unités valides (voir A.2.5.5). Valeur par défaut = "Hz"
Unit_param	Unités de paramètre	Facultatif	Unités valides (voir A.2.5.5). Voir 6.8.2.11 pour les valeurs par défaut
Power_level	Niveau de puissance de mesure	Facultatif	Valeur numérique valide avec unités (voir A.2.5.5). Valeur par défaut = "0dBm"
Data_files	Paramètre source PDN défini dans un fichier externe	Exigé s'il ne s'agit pas de List	Valide pour le fichier Netlist externe ou le fichier externe de paramètre de réseau.
List	Entrées de données PDN sous la forme d'une liste définie en ligne	Exigé s'il ne s'agit pas de Data_files	Valeurs numériques valides avec ou sans unités dans l'ordre spécifié

Les compositions des champs *Id*, *Ground_id*, *Type*, *Param_order* et *Format* ont déjà été présentées en 6.8.2. L'analyseur syntaxique CIML comprend que la définition d'un PDN pour une broche particulière est asymétrique lorsque l'attribut *Id* contient une valeur unique (par exemple, *Id*="1").

Le champ *Meas_Type* est uniquement reconnu lorsque le PDN est défini à l'aide des paramètres S (*Type*= "S"). Pour tous les autres types, ce champ est ignoré. CIML version 1 prend en charge les valeurs *Meas_type* suivantes pour un PDN asymétrique avec les paramètres S:

- "0" pour la configuration de mesure normalisée ou conventionnelle (par défaut)
- "1" lorsque le DUT est parallèle aux accès de mesure (connexion de shuntage)
- "2" lorsque le DUT est en série par rapport aux accès de mesure (connexion en série)

L'impédance de référence utilisée dans les mesurages PDN est définie par la balise *Reference_impedance*. Ce champ est uniquement reconnu lorsque le PDN est défini à l'aide des paramètres S (*Type*= "S").

Les différentes configurations de mesure et les différents montages pour l'extraction de PDN asymétrique tels que présentés dans la norme CISPR 17 sont présentés en 7.3. En l'absence de valeur spécifiée, la valeur par défaut de *Meas_type* est "0" (méthode conventionnelle).

Les données peuvent être définies en ligne dans le fichier CIML ou peuvent l'être à l'aide de fichiers de données externes pour la définition du paramètre de réseau et du circuit (Netlist).

6.8.3.2 Données en ligne – paramètre de réseau

Si les paramètres de réseau (*S*, *Z* ou *Y*) sont définis pour une seule fréquence, ils peuvent être directement définis dans le mot clé *Lead*. Si le PDN est défini pour des fréquences multiples (plusieurs fréquences), les données doivent être écrites dans le mot clé *List*. Les différentes connexions DI ou DO, dont le PDN doit être défini, doivent être définies à l'aide de l'attribut *Id*, et le conducteur de terre (connexion avec *Mode*="GND" dans la section *Lead_definitions*) utilisé comme chemin du signal de retour doit être spécifié à l'aide de l'attribut *Ground_id*.

Les unités de fréquence doivent être définies dans le mot clé *Unit_freq* et les unités de données doivent être spécifiées à l'aide du mot clé *Unit_param*. Le niveau de puissance utilisé pour le mesurage doit être défini à l'aide de la balise *Power_level* et l'impédance de référence doit l'être à l'aide de la balise *Reference_impedance*. Voir 6.8.2 pour de plus amples informations relatives à ces attributs et leurs valeurs par défaut.

L'exemple ci-dessous présente le PDN asymétrique de la connexion "1" définie par les paramètres S mesurés à l'aide de la méthode conventionnelle d'analyseur de réseau vectoriel à un accès, la connexion "7" étant utilisée comme mise à la terre (broche du signal de retour). Par défaut, *Use*="S11". Le PDN est modélisé sous la forme d'un bloc dont le champ *Blockname* est défini sur "Block_Pdn1".

```
<Pdn>
  <!-- Données en ligne des paramètres S, fréquences multiples -->
<Validity>9kHz-3GHz</Validity>

  <Lead Id="1"; Ground_id="7";Type="S"; Param_order="Freq,S11";
Format="RI";Meas_type= "0">
    <Blockname>Block_Pdn1</Blockname>
    <Unit_freq>Hz</Unit_freq>
    <Power_level>0dBm</Power_level>

    <Reference_impedance>50ohm</Reference_impedance>

    <List>
      9.000000e+003 9.417885e-001 -3.504903e-001
      9.123751e+003 9.379390e-001 -3.540765e-001
      9.249203e+003 9.370850e-001 -3.587080e-001
      9.376381e+003 9.358488e-001 -3.618073e-001
      9.505307e+003 9.335523e-001 -3.676978e-001
      9.636006e+003 9.318579e-001 -3.723437e-001
      9.768502e+003 9.309074e-001 -3.770503e-001
      9.902820e+003 9.291059e-001 -3.815358e-001
      1.003898e+004 9.248903e-001 -3.872907e-001
      ....
    </List>
  </Lead>
</Pdn>
```

6.8.3.3 Données de fichier externe – paramètre de réseau

Pour inciter l'analyseur syntaxique CIM à utiliser le fichier de données externe nécessaire au format ASCII, la définition doit être portée dans le mot clé *Data_files*. Si le fichier externe est suivi d'une extension touchstone (*.snp ou *.SnP, n étant un entier 1, 2, ...), les définitions *Unit_param*, *Unit_freq*, *Param_order*, *Reference_impedance* et *Type* ne sont pas exigées (ignorées par l'analyseur syntaxique CIM si elles sont explicitement définies). Pour toutes les autres extensions de fichier (*.dat, *.csv, *.txt), les valeurs définies sont utilisées. En cas d'absence de valeurs spécifiées, les valeurs par défaut sont automatiquement prises en compte. Voir le Tableau 8 pour les propriétés par défaut. De la même manière que dans la définition en ligne présentée en 6.8.3.2, le champ *Ground_id* est exigé et le champ *Meas_type* est facultatif.

Le niveau de puissance de mesure doit être une partie du fichier externe sous la forme d'un commentaire ou doit être défini à l'aide de la balise *Power_level*. Les lignes de commentaire du fichier PDN doivent commencer par un point d'exclamation (!), comme indiqué ci-dessous:

```
!Il s'agit d'une ligne de commentaire
```

La Figure 9 représente un exemple de fichier au format Touchstone avec les paramètres S_{11} au format dB pour une entrée asymétrique par rapport à la fréquence. Noter que le niveau de puissance de mesure est inclus en tant que commentaire dans le fichier PDN.

```

!Date: Wed Feb 24 17:02:04 2010
!Data & Calibration Information:
!Freq  S11:SOLT2 (ON)
!Power level : -10dBm
# Hz S dB R 50
10000000 -3.729084e+001 7.606495e+001
14990000 -3.380164e+001 7.729963e+001
19980000 -3.153998e+001 7.662747e+001
24970000 -2.994036e+001 7.626312e+001
29960000 -2.839336e+001 7.553269e+001
34950000 -2.717934e+001 7.494058e+001

```

IEC

Anglais	Français
Date: Wed Feb 24 17:02:04 2010	Date: mercredi 24 février 2010, 17:02:04
Data & Calibration Information:	Informations concernant les données et l'étalonnage:

Figure 9 – PDN représenté sous la forme de paramètres S au format Touchstone

Ces données peuvent être obtenues par un analyseur de réseau vectoriel à un accès (voir 7.3.2). Des détails sont donnés à l'Annexe F.

Un exemple d'utilisation de ce fichier pour définir le PDN de la connexion "1" par rapport à la connexion "7" (utilisée comme broche de signal de retour) est présenté ci-dessous. Par défaut, Use="S11" même s'il n'est pas spécifié.

```

<Pdn>
  <Lead Id="1" Ground_id="7" Meas_type="0">
    <Data_files>
      Pin1_PDN_S11.slp
    </Data_files>
  </Lead>
</Pdn>

```

La Figure 10 représente un exemple de format Touchstone avec des paramètres S à deux accès au format réel/imaginaire pour une entrée asymétrique par rapport à la fréquence mesurée par la méthode parallèle à deux accès.

```

!Date: wed Feb 24 18:10:35 2010
!Data & Calibration Information:
!Freq S11:SOLT2(ON) S21:SOLT2(ON) S12:SOLT2(ON) S22:SOLT2(ON)
!Power Level: 10dBm
# Hz S RI R 50
100000 -1.036458e-001 -2.813728e-001 8.962133e-001 -2.812879e-001 8.968058e-001 -2.810997e-001 -1.035877e-001 -2.808048e-001
100679 -1.047647e-001 -2.827956e-001 8.950628e-001 -2.827016e-001 8.956069e-001 -2.825874e-001 -1.047446e-001 -2.822436e-001
101359 -1.059933e-001 -2.843089e-001 8.938606e-001 -2.841587e-001 8.944253e-001 -2.840167e-001 -1.059335e-001 -2.836677e-001
102038 -1.070761e-001 -2.857621e-001 8.927390e-001 -2.856093e-001 8.932514e-001 -2.854702e-001 -1.071706e-001 -2.850955e-001
102717 -1.082844e-001 -2.871706e-001 8.915527e-001 -2.870721e-001 8.921174e-001 -2.869190e-001 -1.082758e-001 -2.865788e-001
103396 -1.094305e-001 -2.886304e-001 8.904199e-001 -2.885258e-001 8.910204e-001 -2.883397e-001 -1.094611e-001 -2.879343e-001
104076 -1.105872e-001 -2.900029e-001 8.892567e-001 -2.898991e-001 8.898156e-001 -2.898370e-001 -1.105748e-001 -2.895200e-001
104755 -1.117609e-001 -2.914495e-001 8.880716e-001 -2.913276e-001 8.886742e-001 -2.911542e-001 -1.117679e-001 -2.907723e-001
105434 -1.129686e-001 -2.928305e-001 8.869238e-001 -2.927147e-001 8.875063e-001 -2.926166e-001 -1.129574e-001 -2.922262e-001
106113 -1.141046e-001 -2.943295e-001 8.857913e-001 -2.941380e-001 8.863739e-001 -2.940393e-001 -1.140602e-001 -2.936681e-001
106793 -1.153434e-001 -2.957321e-001 8.846137e-001 -2.955797e-001 8.851491e-001 -2.954778e-001 -1.152589e-001 -2.950926e-001
107472 -1.164054e-001 -2.971754e-001 8.834974e-001 -2.970460e-001 8.840123e-001 -2.968765e-001 -1.164158e-001 -2.965406e-001
108151 -1.176255e-001 -2.985017e-001 8.822543e-001 -2.983617e-001 8.828818e-001 -2.982495e-001 -1.175782e-001 -2.978422e-001
108830 -1.188660e-001 -2.998882e-001 8.810909e-001 -2.997076e-001 8.816448e-001 -2.996442e-001 -1.188061e-001 -2.992442e-001
109510 -1.200334e-001 -3.012986e-001 8.799533e-001 -3.011631e-001 8.805157e-001 -3.009885e-001 -1.199358e-001 -3.006307e-001
110189 -1.211291e-001 -3.026314e-001 8.787928e-001 -3.025275e-001 8.793571e-001 -3.023668e-001 -1.211662e-001 -3.019719e-001

```

IEC

Anglais	Français
Date: Wed Feb 24 17:02:04 2010	Date: mercredi 24 février 2010, 18:10:35
Data & Calibration Information:	Informations concernant les données et l'étalonnage:

Figure 10 – PDN représenté sous la forme de paramètres S à deux accès au format Touchstone

Ces données peuvent être obtenues par un analyseur de réseau vectoriel à deux accès (voir l'Annexe F).

Un exemple d'utilisation du paramètre S_{21} à partir de ce fichier pour définir le PDN asymétrique de la connexion "2" avec la connexion "8" utilisée comme broche de signal de retour est présenté ci-dessous.

```

<Pdn>
  <Lead Id="2" Ground_id="8" Meas_type="1" Use="S21">
    <Data_files>
      Pin2_Parallel_PDN.s2p
    </Data_files>
  </Lead>
</Pdn>

```

6.8.3.4 Définition du circuit en ligne

Une autre façon de définir le PDN est une Netlist de type SPICE [2]. L'analyseur syntaxique CIM comprend que le PDN comporte une définition de circuit lorsque la valeur "Ckt" est affectée à l'attribut *Type* d'une connexion particulière. La définition du circuit doit être directement déclarée dans la balise *Netlist* de la section *Lead*. La section *Netlist* doit contenir les définitions suivantes:

- Définition *Power_level*
- Instructions de données définissant la connectivité électrique des composants

Tous les éléments reconnus par SPICE peuvent être définis dans cette section et la représentation doit suivre la syntaxe SPICE. Les instructions de données disposent d'un format libre et sont composées de champs séparés par un espacement blanc. Pour poursuivre une instruction à la ligne suivante, utiliser un signe "+" (signe de continuation) au début de la ligne suivante. Les nombres peuvent être des entiers ou à virgule flottante. Par exemple, une résistance "R1" avec une valeur de 1 k Ω connectant les nœuds "In" et "Out" peut être représentée comme suit:

```
R1 In Out 1e3
```

Tous les nœuds utilisés dans les instructions de données partagent le même espace de noms avec les ID de connexion définis dans la section *Lead_definitions*. Le champ *Ground_id* est ignoré par l'analyseur syntaxique CIM lors de la définition du PDN à l'aide d'une Netlist. L'attribut *Id* du mot clé *Lead* doit contenir les informations d'ID des broches DI, DO et GND (terre) (définies dans la section *Lead_definitions*).

Dans les instructions de données utilisées pour définir la Netlist, au moins un nœud doit correspondre à la connexion définie comme DI ou DO, et au moins un nœud doit être GND dans la section *Lead_definitions*. Tous les autres nœuds utilisés pour la définition de circuit ne doivent pas contenir les ID de connexion définis dans la section *Lead_definitions*. Pour des raisons de compatibilité entre plusieurs types SPICE, "0" n'est pas admis comme numéro de nœud.

La définition du mot clé *Netlist* est présentée au Tableau 9.

Tableau 9 – Définition de Netlist

<i>Netlist</i>
Kind: Format netlist de SPICE (facultatif), valeur par défaut: "SPICE3"
Data_files: Netlist SPICE dans un fichier externe (facultatif)

Le champ *Kind* indique à l'analyseur syntaxique CIM que la Netlist définie suit une syntaxe particulière. CIML version 1 prend en charge les syntaxes de Netlist de type SPICE de norme industrielle [2].

La valeur par défaut du champ *Kind* est "SPICE3" en l'absence de champ.

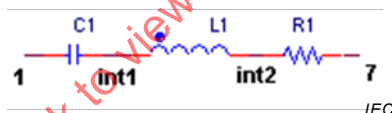


Figure 11 – Exemple de structure pour la définition du PDN à l'aide des éléments de circuit

L'exemple suivant représente le PDN de la structure représentée à la Figure 11. Les différents éléments de circuit de la connexion "1" par rapport à GND1 (connexion "7") sont représentés à l'aide de la définition *Netlist*. Le PDN est défini à partir des mesurages réalisés avec un niveau de puissance de 10 dBm.

```
<Pdn>
  <!-- Modèle de circuit général -->
  <Lead Id="1 7" Type="Ckt">
    <Power_level>10dBm</Power_level>
    <Netlist Kind="SPICE3">
      C1 1 int1 20e-9
      L1 int1 int2 9e-9
      R1 int2 7 230e-3
    </Netlist>
  </Lead>
</Pdn>
```

L'exemple ci-dessus peut également être exprimé à l'aide d'un macromodèle SPICE (voir ci-dessous). Il est pris pour hypothèse que "PDN_pin1" est défini dans la section *Macromodels* (voir 6.6).

```
<Pdn>
  <!-- Modèle de circuit général -->
  <Lead Id="1 7" Type="Ckt">
    <Power_level>10dBm</Power_level>
    <Netlist>
      Xpin1 1 7 PDN_pin1
    </Netlist>
  </Lead>
</Pdn>
```

Dans l'exemple ci-dessus, Xpin1 est l'identifiant du sous-circuit "PDN_pin" du circuit principal.

6.8.3.5 Fichier externe contenant la Netlist

À la place de la définition de netlist en ligne (voir 6.8.3.4), il est possible de définir le PDN dans un fichier Netlist externe. La définition est exprimée dans la balise *Data_files* de la section *Netlist*. Toutes les règles relatives aux numéros de nœud utilisés dans la définition de Netlist sont les mêmes que celles définies en 6.8.3.4. Un exemple de fichier Netlist avec une définition de circuit est présenté à la Figure 12.

```
*Netlist file created on Fri 27 Nov 2012
*Time: 14:09:02
*PDN main circuit model of PIN1 with respect to GND1
C1 1 int1 20e-9
L1 int1 int2 9e-9
R1 int2 7 230e-3
```

IEC

Anglais	Français
Netlist file created on Fri 27 Nov 2012	Fichier Netlist créé le vendredi 27 novembre 2012
Time: 14:09:02	Heure: 14:09:02
PDN main circuit model of PIN1 with respect to GND1	Modèle de circuit principal PDN de PIN1 par rapport à GND1

Figure 12 – Exemple de définition de circuit principal PDN Netlist asymétrique

Dans certains cas, un fichier Netlist peut contenir la définition de circuit principal et les définitions de sous-circuit. Pour éviter toute ambiguïté, le CIM analyse uniquement les instructions de données définies à l'extérieur des mots clés SPICE: ".SUBCKT" et ".ENDS". Ces mots clés ne sont pas sensibles à la casse.

Un exemple de Netlist contenant les données de sous-circuit et de circuit principal est représenté à la Figure 13. Dans la section *Netlist*, seuls les éléments de circuit principal font l'objet d'une analyse syntaxique. Pour l'analyse syntaxique de l'élément de sous-circuit, il est obligatoire de définir le même fichier dans la section *Macromodels* (voir 6.6).

```

*Netlist file created on Fri 26 Nov 2012
*Time: 08:39:14
*PDN macro-model model of PIN1 with respect to GND1
.Subckt Pin1_PDN N1 N2
C1 N1 int1 20e-9
L1 int1 int2 9e-9
R1 int2 N2 230e-3
.ends
*Call in main circuit
Xpin1 1 7 Pin1_PDN

```

← Sub-circuit part

← Main circuit part

IEC

Anglais	Français
Netlist file created on Fri 26 Nov 2012	Fichier Netlist créé le vendredi 26 novembre 2012
Time: 08:39:14	Heure: 08:39:14
PDN macro-model model of PIN1 with respect to GND1	Modèle de macromodèle PDN de PIN1 par rapport à GND1
Sub-circuit part	Partie du sous-circuit
Call in main circuit	Appel du circuit principal
Main circuit part	Partie du circuit principal

Figure 13 – Exemple de PDN Netlist asymétrique avec définitions de sous-circuit et de circuit principal

L'exemple ci-dessous présente le PDN de la connexion "1" par rapport au GND1 (connexion avec Id="7") utilisant la définition *Netlist* dans un fichier externe ("Pin1_PDN_Ckt.lib") contenant les définitions de sous-circuit et de circuit principal (Figure 13). Le niveau de puissance de mesure est de –10 dBm.

```

<Macromodels>
  <Data_files>
    Pin1_PDN_Ckt.lib
  </Data_files>
</Macromodels>
<Pdn>
  <!-- Modèle de circuit général -->
  <Lead Id="1 7" Type="Ckt">
    <Blockname>Block1</Blockname>
    <Power_level>-10dBm</Power_level>
    <Netlist>
      <Data_files>Pin1_PDN_Ckt.lib</Data_files>
    </Netlist>
  </Lead>
</Pdn>

```

Dans l'exemple ci-dessus, la définition du sous-circuit et la définition du circuit principal sont respectivement analysées dans la section *Macromodels* et la section *Netlist*.

L'existence d'un macromodèle SPICE d'un élément de circuit dans une autre bibliothèque ou un autre fichier Netlist et la définition du circuit principal dans une autre bibliothèque/un autre fichier Netlist sont néanmoins recommandées (ce qui est également vrai dans la plupart des cas). Les fichiers correspondants sont définis dans la section *Macromodels* et la section *Netlist* (voir ci-dessous):

```
<Macromodels>
  <!-- Modèle de sous-circuit -->
  <Data_files>
    Pin1_PDN_SubCkt.lib
  </Data_files>
</Macromodels>

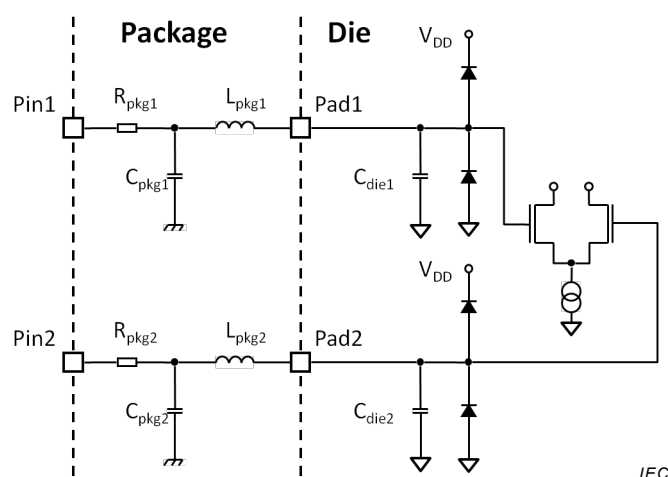
<Pdn>
  <Lead Id="1 7" Type="Ckt">
    <Power_level>-10dBm</Power_level>
    <Netlist>
      <!-- Définition du circuit principal -->
      <Data_files>
        Pin1_PDN_MainCkt.lib
      </Data_files>
    </Netlist>
  </Lead>
</Pdn>
```

6.8.4 PDN d'une entrée différentielle

Une entrée ou sortie différentielle correspond à une paire de broches sur le CI. Dans ce cas, le signal est transporté par deux pistes CCI. La mise à la terre électrique du CI peut être considérée comme une piste blindée ou un plan de masse.

Différentes parties du PDN peuvent avoir différentes mises à la terre. Ces mises à la terre sont connectées ensemble à l'intérieur du dispositif ou par des connexions externes, qui ne sont pas nécessairement parfaites. Il convient de veiller à tenir compte de ces connexions lors de l'extraction du PDN.

La Figure 14 donne un schéma électrique classique d'une entrée différentielle.

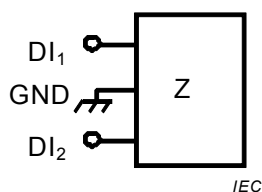
**Légende**

Pin1, Pin2	Interface de la broche du CI au niveau du boîtier
R_{pkg1} , R_{pkg2}	Résistance parasite du boîtier correspondant à pin1 et pin2
L_{pkg1} , L_{pkg2}	Inductance parasite du boîtier correspondant à pin1 et pin2
C_{pkg1} , C_{pkg2}	Capacité parasite du boîtier correspondant à pin1 et pin2
C_{die1} , C_{die2}	Capacité parasite de la puce correspondant à pin1 et pin2
Pad1, Pad2	Interface de la broche du CI au niveau de la puce correspondant à pin1 et pin2
VDD	Tension d'alimentation du CI

Anglais	Français
Package	Boîtier
Die	Puce
Pin	Broche
Pad	Pastille d'interconnexion

Figure 14 – Schéma d'entrée différentielle

La Figure 15 représente l'impédance du PDN représenté par une boîte noire à deux accès.

**Figure 15 – PDN représenté sous la forme d'une boîte noire à deux accès**

La Figure 16 donne un exemple de fichier au format Touchstone avec les paramètres S pour une entrée différentielle par rapport à la fréquence. Le niveau de puissance de mesure est inclus en tant que commentaire dans le fichier PDN.

```
!Date: Wed Feb 24 16:59:43 2010
!Data & Calibration Information:
!Freq  S11:SOLT2 (ON)  S21:SOLT2 (ON)  S12:SOLT2 (ON)  S22:SOLT2 (ON)
!Power level : -10dBm
# Hz S dB R 50
10000000 -3.600368e+001 7.685763e+001 -2.980386e-002 -2.381251e+000 -2.825661e-002 -2.368914e+000
14990000 -3.247939e+001 7.772459e+001 -3.569744e-002 -3.511269e+000 -3.624313e-002 -3.507569e+000
19980000 -3.005455e+001 7.789619e+001 -4.466566e-002 -4.640308e+000 -4.369846e-002 -4.655575e+000
24970000 -2.839623e+001 7.768869e+001 -5.491686e-002 -5.775656e+000 -5.325215e-002 -5.776176e+000
29960000 -2.681729e+001 7.683536e+001 -5.999875e-002 -6.889885e+000 -6.091786e-002 -6.914319e+000
34950000 -2.558788e+001 7.569970e+001 -6.945887e-002 -8.025029e+000 -6.760100e-002 -8.027510e+000
```

IEC

Anglais	Français
Date: Wed Feb 24 16:59:43 2010	Date: mercredi 24 février 2010, 16:59:43
Data & Calibration Information:	Informations concernant les données et l'étalonnage:

Figure 16 – Format de données PDN pour une entrée ou sortie différentielle

Ces données peuvent être obtenues par un analyseur de réseau vectoriel à deux accès (voir 7.3.2). Pour les entrées différentielles, CIML version 1 prend en charge uniquement la méthode de mesure conventionnelle. L'Annexe C donne plus de détails sur la conversion entre les paramètres S , Z et Y .

Les données PDN des broches différentielles peuvent également être représentées à l'aide d'une Netlist de type SPICE qui décrit l'interaction entre les deux broches d'entrée différentielle [2].

Le Tableau 10 répertorie les champs valides d'une structure *Lead* pour la définition d'un PDN différentiel, ainsi que leur utilisation.

Tableau 10 – Champs valides du mot clé *Lead* pour le PDN différentiel

Champ	Description	Utilisation	Règles
Id	Identifiant ou numéro de broche	Exigé	Deux ID déjà définis dans la section <i>Lead-definitions</i> (bornes DI, DO et internes)
Ground_id	Identifiant ou numéro de la broche du signal de retour	Exigé pour Type="S", "Z" ou "Y"	ID unique préalablement défini en tant que GND dans la section <i>Lead-definitions</i>
Blockname	Nom du composant de bloc PDN	Facultatif	Chaîne valide (voir 6.8.1)
Type	Paramètre source PDN (S/Z/Y/Circuit)	Facultatif	Chaîne valide: "S" (par défaut), "Z", "Y" ou "Ckt"
Param_order	Ordre dans lequel les paramètres sont définis	Facultatif	Chaîne valide (voir 6.8.1)
Format	Format de données	Facultatif	"RI" (par défaut), "DB" ou "MA"
Meas_type	Méthode mise en œuvre pour procéder aux mesurages PDN	Facultatif	"0" (par défaut)
Reference_impedance	Impédance de référence utilisée dans les mesurages PDN	Facultatif	Valeur numérique valide avec unités. Valeur par défaut = "50ohm"
Use	Paramètre devant être utilisé de manière spécifique	Facultatif	L'une des valeurs de Param_order autre que le terme Frequency. Par défaut: Premier terme S, Z ou Y
Netlist	Netlist de type SPICE	Facultatif	Instructions valides de données de type SPICE. Voir 6.8.3.4 et 6.8.3.5
Unit_freq	Unités de fréquence	Facultatif	Unités valides (voir A.2.5.5). Valeur par défaut = "Hz"
Unit_param	Unités de paramètre	Facultatif	Unités valides (voir A.2.5.5). Voir 6.8.2.11 pour les valeurs par défaut
Power_level	Niveau de puissance de mesure	Facultatif	Valeur numérique valide avec unités (voir A.2.5.5). Valeur par défaut = "0dBm"
Data_files	Paramètre source PDN défini dans un fichier externe	Exigé s'il ne s'agit pas de List	Valide pour le fichier Netlist externe ou le fichier externe de paramètre de réseau.
List	Entrées de données PDN sous la forme d'une liste définie en ligne	Exigé s'il ne s'agit pas de Data_files	Valeurs numériques valides avec ou sans unités dans l'ordre spécifié

L'analyseur syntaxique CIM détecte que la définition du PDN concerne l'entrée ou la sortie différentielle lorsqu'au moins deux DI ou DO sont spécifiées dans l'attribut "Id", comme suit:

```
<Lead Id="1,2"/>
```

Deux bornes DI (ou DO ou internes) au maximum, déjà définies dans la section *Lead_definitions*, doivent être référencées et séparées par une virgule (",").

NOTE Lors de l'utilisation de paramètres de réseau pour la description du PDN, la valeur *Id* de la connexion peut ne pas être cohérente avec les numéros d'accès de mesure. Les valeurs sont mises en correspondance avec les numéros d'accès dans l'ordre, de gauche à droite.

Un exemple d'entrées différentielles d'un amplificateur opérationnel est présenté à la Figure 17.

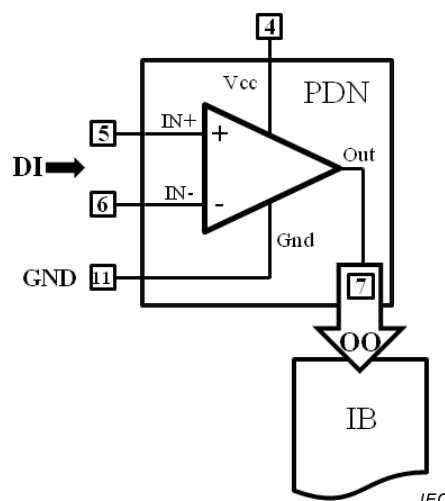


Figure 17 – Exemple d'entrées différentielles d'un amplificateur opérationnel

La section *Lead_definitions*, ne présentant que les broches considérées, est présentée ci-dessous:

```
<Lead_definitions>
  <Lead Id="5" Name="IN2+" Mode="DI"/>
  <Lead Id="6" Name="IN2-" Mode="DI"/>
  <Lead Id="4" Name="Vcc" Mode="None"/>
  <Lead Id="11" Name="Gnd" Mode="GND"/>
  <Lead Id="7" Name="Out" Mode="OO"/>
</Lead_definitions>
```

La description du PDN, qui correspond aux broches d'entrée différentielles, est la suivante:

```
<Pdn>
  <Lead Id="5,6" Ground_id="11" Type="S">
    <Data_files>Pins5_6.s2p</Data_files>
  </Lead>
</Pdn>
```

En mettant en corrélation le fichier touchstone "Pins5_6.s2p" (voir la Figure 16) avec la description du PDN, la connexion Id="5" correspond à l'accès 1 et la connexion Id="6" correspond à l'accès 2 lors de l'utilisation d'un analyseur de réseau vectoriel à deux accès. Les détails du mesurage des paramètres S à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel sont donnés à l'Annexe F.

6.8.5 Description du PDN multiaccès

Le PDN multiaccès est un type de CI équipé de plusieurs broches qui nécessitent d'être prises en compte pour le modèle. Ces broches peuvent être des bornes DI, DO ou internes.

Le PDN repose alors sur une matrice complète de paramètres *S*, *Z* ou *Y* ou sur une Netlist électrique, décrivant les interactions entre les différentes broches considérées dans le modèle. La structure de fichier est la même que celle de la Figure 16, mais contient plus d'accès.

NOTE Lors de l'utilisation de paramètres de réseau pour la description du PDN, la valeur *Id* de la connexion peut ne pas être cohérente avec les numéros d'accès de mesure. Les valeurs sont mises en correspondance avec les numéros d'accès dans l'ordre, de gauche à droite.

La Figure 18 donne un exemple de modèle de boîte noire ICIM-CI pour un circuit 74HC08. Plusieurs broches sont considérées:

- Les broches "1A", "1Y" et "VCC" sont censées être les bornes DI d'une application donnée,
- "1Y" est également une borne OO qui est surveillée,
- "1B" est considérée comme une borne DO.

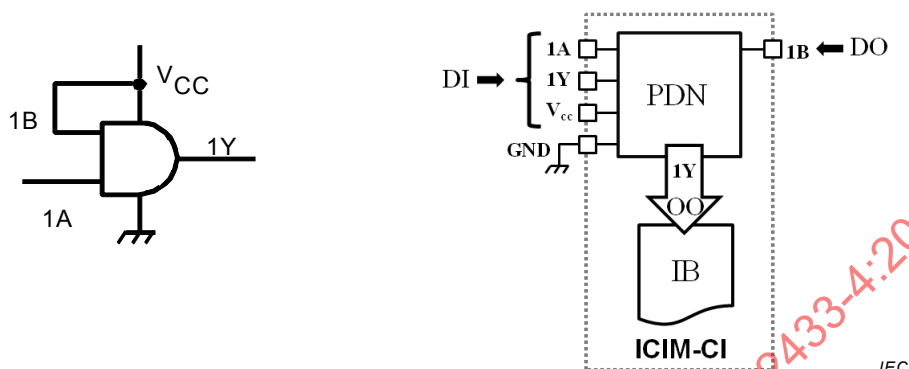


Figure 18 – Modèle ICIM-CI d'un composant 74HC08

Les attributs CIML définis au Tableau 10 pour les broches différentielles sont également valides pour la définition multiaccès, sauf que l'attribut *Id* peut prendre plus de deux identités comme valeur. Une matrice de paramètre *S* à trois accès est utilisée pour décrire le PDN correspondant aux trois bornes DI.

La section *Lead_definitions* et la section *Pdn* correspondant au macromodèle ICIM-CI de la structure décrite à la Figure 18 peuvent être représentées comme suit:

```
<!--Section Lead_definitions -->
<Lead_definitions>
  <Lead Id="1" Name="1A" Mode="DI"/>
  <Lead Id="2" Name="1B" Mode="DO"/>
  <Lead Id="3" Name="1Y" Mode="DI,OO"/>
  <Lead Id="14" Name="VCC" Mode="DI"/>
  <Lead Id="7" Name="GND" Mode="GND"/>
</Lead_definitions>

<!--Section Pdn -->
<Pdn>
  <Lead Id="1,14,3" Ground_id="7" Type="S">
    <Data_files>Pins1_14_3.s3p</Data_files>
  </Lead>
</Pdn>
```

Dans l'exemple ci-dessus, si un mesurage de paramètre *S* à trois accès est réalisé à l'aide des accès 1, 2 et 3 de l'analyseur de réseau vectoriel, "S11" correspond au coefficient de réflexion de la broche avec *Id*="1", "S22" à celui de la broche avec *Id*="14", "S33" à celui de la broche avec *Id*="3", "S21" étant le coefficient de transmission entre les broches "14" et "1", et ainsi de suite.

6.9 IBC

6.9.1 Généralités

Comme pour le PDN, différents niveaux de complexité d'IBC peuvent être pris en compte. Le niveau de configuration le plus simple est la modélisation de l'IBC avec deux bornes internes reliant deux bornes internes de différents blocs PDN. Les réseaux IBC qui assurent l'interface

entre plusieurs blocs PDN équipés de nombreuses bornes internes peuvent devenir très complexes.

La section *Ibc* du macromodèle ICIM-CI contient les données IBC qui décrivent le PDN ICIM-CI. Les données doivent être définies dans le mot clé *Ibc* comme suit:

```
<Ibc>
  Données IBC
</Ibc>
```

Une donnée IBC est définie pour assurer l'interface entre différents blocs PDN et, par conséquent, la définition doit être réalisée dans une balise *Lead* (comme pour le PDN). Voir la Figure 5 pour la hiérarchie structurale. De nombreux éléments *Lead* peuvent être répertoriés les uns sous les autres dans la section *Ibc*.

6.9.2 Définitions d'attributs

La structure générale du mot clé *Lead* est cohérente avec celle indiquée au Tableau 5. Toutefois, certaines spécifications d'attribut sont différentes pour le réseau IBC. Ces différences figurent au Tableau 11. Tous les autres champs du Tableau 5 restent inchangés.

Tableau 11 – Différences entre les champs de la section *Pdn* et de la section *Ibc*

Champ	Description	Utilisation		Règles	
		<i>Pdn</i>	<i>Ibc</i>	<i>Pdn</i>	<i>Ibc</i>
Id	Identifiant ou numéro de broche	Exigé	Exigé	Un ou plusieurs ID préalablement définis dans la section Lead-definitions en tant que <u>bornes internes ou externes</u>	Au moins deux ID préalablement définis dans la section Lead-definitions en tant que <u>bornes internes</u>
Ground_id	Identifiant ou numéro de la broche du signal de retour	Exigé pour Type="S", "Z" ou "Y"	Non applicable	ID unique préalablement défini en tant que GND dans la section Lead-definitions	Non applicable

Le Tableau 12 répertorie les champs valides d'une structure *Lead* pour une définition d'IBC et leur utilisation.

Tableau 12 – Champs valides du mot clé *Lead* pour la définition d'IBC

Champ	Description	Utilisation	Règles
Id	Identifiant ou numéro de broche	Exigé	Au moins deux ID préalablement définis dans la section Lead-definitions en tant que bornes internes
Blockname	Nom du composant IBC	Facultatif	Chaîne valide (voir 6.8.1)
Type	Paramètre source IBC (S/Z/Y/Circuit)	Facultatif	Chaîne valide: "S" (par défaut), "Z", "Y" ou "Ckt"
Param_order	Ordre dans lequel les paramètres IBC sont définis	Facultatif	Chaîne valide (voir 6.8.1)
Format	Format de données	Facultatif	"RI" (par défaut), "DB" ou "MA"
Meas_type	Méthode mise en œuvre pour procéder aux mesurages IBC	Facultatif	"0"
Reference_impedance	Impédance de référence utilisée dans les mesurages IBC	Facultatif	Valeur numérique valide avec unités: "50ohm"
Use	Paramètre devant être utilisé de manière spécifique	Facultatif	L'une des valeurs de Param_order autre que le terme Frequency. Par défaut: Premier terme S, Z ou Y
Netlist	Netlist de type SPICE	Facultatif	Instructions valides de données de type SPICE. Voir 6.8.3.4 et 6.8.3.5
Unit_freq	Unités de fréquence	Facultatif	Unités valides. Voir A.2.5.5 Valeur par défaut = "Hz"
Unit_param	Unités de paramètre	Facultatif	Unités valides (voir A.2.5.5). Voir 6.8.2.11 pour les valeurs par défaut
Power_level	Niveau de puissance de mesure	Facultatif	Valeur numérique valide avec unités (voir A.2.5.5). Valeur par défaut = "0dBm"
Data_files	Paramètre source IBC défini dans un fichier externe	Exigé s'il ne s'agit pas de List	Valide pour le fichier Netlist externe ou le fichier externe de paramètre de réseau.
List	Entrées de données IBC sous la forme d'une liste définie en ligne	Exigé s'il ne s'agit pas de Data_files	Valeurs numériques valides avec ou sans unités dans l'ordre spécifié

Toutes les informations pertinentes exigées pour la bonne compréhension (et utilisation) de l'IBC doivent éventuellement être définies dans les balises *Notes* et *Documentation*.

6.10 IB

6.10.1 Généralités

La section *Ib* du macromodèle ICIM-CI contient les données IB qui décrivent le modèle. Les données doivent être définies dans le mot clé *Ib* comme suit:

```
<Ib>
    Données IB
</Ib>
```

Comme pour la définition du PDN, les données IB sont définies pour une broche CI particulière. La définition doit donc être réalisée dans une balise *Lead* (voir la Figure 5 pour la hiérarchie structurale). Plusieurs éléments *Lead* peuvent figurer les uns sous les autres dans la section *lb* afin de représenter les données IB aux différentes broches du CI. Le Tableau 13 répertorie les différents champs reconnus du mot clé *Lead* de la section *lb*:

Tableau 13 – Définition du mot clé *Lead* de la section *lb*

<i>Lead</i>
Id : Identité de la broche sous forme d'une chaîne valide (exigé)
Ground_id : Chemin de signal de retour sous la forme d'une chaîne valide (exigé)
Blockname : Nom du bloc IB sous la forme d'une chaîne valide
Type : Paramètre source IB – "DPI" (exigé)
Max_power_level : Puissance injectée maximale
Voltage : Données IB définies en tant que grandeur de tension (exigé s'il ne s'agit pas de Current ou de Power)
Current : Données IB définies en tant que grandeur de courant (exigé s'il ne s'agit pas de Voltage ou de Power)
Power : Données IB définies en tant que grandeur de puissance (exigé s'il ne s'agit pas de Voltage ou de Current)

La plage de fréquences des informations IB doit être spécifiée dans la section *Validity* de la balise *Frequency_range*.

NOTE La plage de fréquences de validité du macromodèle ICIM-CI est la plage de fréquences commune du PDN et de l'IB.

Toutes les autres informations pertinentes exigées pour la bonne compréhension (et utilisation) de l'IB doivent éventuellement être définies dans les balises *Notes* et *Documentation*. Les détails (le mode de fonctionnement du CI, les condensateurs de découplage sur les lignes d'alimentation, les fonctions activées, les détails de mise à la terre, les fiches techniques et les rapports d'essai, par exemple) peuvent être définis.

6.10.2 Définitions d'attributs

6.10.2.1 Id

Il convient de définir préalablement en tant que broches DI les ID de *Lead* utilisés dans cette définition de l'IB dans la balise *Lead_definitions* (voir 6.5). Un ou plusieurs ID de connexion sont admis.

Il s'agit d'un champ exigé.

6.10.2.2 Ground_id

Il convient de définir préalablement en tant que GND l'attribut *Ground_id* de *Lead* utilisé dans cette définition de l'IB dans la balise *Lead_definitions* (voir 6.5). Un seul attribut *Ground_id* est admis par définition *Lead*.

Il s'agit d'un champ exigé.

6.10.2.3 Blockname

Le champ *Blockname* est utilisé pour définir le nom du bloc IB.

Ce champ est facultatif et est utilisé pour représenter l'IB en tant que sous-bloc. Ce champ est indiqué à titre informatif uniquement. L'analyseur syntaxique CIM ne l'interprète pas.

6.10.2.4 Type

L'attribut *Type* est utilisé pour représenter le type de données IB. CIML version 1 ne prend en charge qu'un seul type: "DPI" dans le domaine fréquentiel.

Cet attribut peut faire l'objet d'améliorations. Il peut être réutilisable pour la modélisation de l'immunité dans le domaine temporel à un stade ultérieur.

Il s'agit d'un champ exigé.

6.10.2.5 Max_power_level

Ce champ facultatif spécifie la puissance injectée maximale sur la broche DI spécifique (ID de connexion). La définition de l'attribut *Max_power_level* est présentée au Tableau 14.

Tableau 14 – Définition de *Max_power_level*

<i>Max_power_level</i>
Value: Valeur du niveau de puissance maximale avec unités (exigé)
Start_freq: Fréquence de démarrage (facultatif)
Stop_freq: Fréquence d'arrêt (facultatif)

Si l'attribut *Max_power_level* est défini, il contient un attribut exigé, *Value*, qui porte la valeur de la puissance injectée maximale. Pour des raisons de simplicité, la valeur de l'attribut *Value* doit être définie avec des unités, comme indiqué en A.2.5.3 (par exemple: *Value*="35dBm"). Par défaut, cette valeur est utilisée pour toutes les fréquences dans lesquelles les données IB principales sont définies (voir l'Exemple 1).

S'il s'avère nécessaire de définir plusieurs valeurs dans des bandes de fréquences spécifiques, plusieurs définitions de *Max_power_level* doivent être créées l'une après l'autre en spécifiant les valeurs de bande de fréquences (Start frequency (fréquence de démarrage) et Stop frequency (fréquence d'arrêt)) dans les mots clés *Start_freq* et *Stop_freq* (voir l'Exemple 2).

EXEMPLE 1 La syntaxe suivante spécifie que le niveau de puissance injectée maximale est de 40 dBm sur toute la plage de fréquences de validité.

```
<Max_power_level Value="40dBm"/>
```

EXEMPLE 2 La syntaxe suivante spécifie que le niveau de puissance injectée maximale est de 35 dBm dans la bande de fréquences comprise entre 1 MHz et 500 MHz, et de 25 dBm dans la bande de fréquences comprise entre 510 MHz et 1 GHz.

```
<Max_power_level>
  <Value>"35dBm"</Value>
  <Start_freq>1MHz</Start_freq>
  <Stop_freq>500MHz</Stop_freq>
</Max_power_level>

<Max_power_level>
  <Value>"25dBm"</Value>
  <Start_freq>510MHz</Start_freq>
  <Stop_freq>1GHz</Stop_freq>
</Max_power_level>
```

6.10.2.6 Voltage, Current et Power

Les données IB principales sont définies dans les sections *Voltage*, *Current* et/ou *Power*.

Au moins une définition est exigée. Les données de tension sont définies dans le mot clé *Voltage* et les données de courant dans le mot clé *Current*. La section *Power* est utilisée pour définir la puissance transmise à la broche du CI (ID de connexion).

La définition commune des sections *Voltage*, *Current* et *Power* est présentée au Tableau 15.

Tableau 15 – Définition de *Voltage*, *Current* et *Power*

<i>Voltage / Current / Power</i>
Test_criteria: Détails sur les conditions d'essai (exigé)
Param_order: Ordre dans lequel les paramètres IB sont définis (facultatif)
Format: Format de données IB (facultatif)
Unit_voltage: Termes d'unité de tension (facultatif)
Unit_current: Termes d'unité de courant (facultatif)
Unit_power: Termes d'unité de puissance (facultatif)
Unit_freq: Termes d'unité de fréquence (facultatif)
Data_files: Paramètre source IB défini dans un fichier externe (exigé s'il ne s'agit pas de List)
List: Liste de paramètres IB (exigé s'il ne s'agit pas de Data_files)

Ces sections comportent deux éléments enfants exigés: *Test_criteria* et *List* (ou *Data_files*). Tous les autres attributs et éléments du Tableau 15 sont facultatifs.

6.10.2.7 *Test_criteria*

Les conditions d'essai doivent être définies dans le mot clé *Test_criteria*, qui est un champ exigé. Ces conditions d'essai correspondent à la définition IB particulière. Ses attributs sont présentés au Tableau 16.

Tableau 16 – Définition de *Test_criteria*

<i>Test_criteria</i>
Id: Identité de la broche OO (exigé)
Ground_id: Identité du signal de retour pour la broche OO soumise aux essais (facultatif)
Type: Type d'essai réalisé – "PF" pour réussite/échec (Pass/Fail), "NPF" pour "non-réussite/échec" (Non Pass/Fail) (exigé)
Level: Niveau de susceptibilité défini sur la broche OO (facultatif)
Parameter: Paramètre dans lequel l'essai est réalisé (facultatif)

Test_criteria contient deux attributs exigés: *Id* et *Type*. L'attribut *Id* est l'une des broches OO définies dans la section *Lead_definitions* (voir 6.5). Il informe l'utilisateur que l'essai est réalisé selon la surveillance de la broche OO spécifiée. Les broches non OO ne sont pas acceptées.

Le champ facultatif *Ground_id* représente le chemin du signal de retour pour la broche OO définie dans le champ *Id*. S'il est absent, le *Ground_id* défini dans la définition de connexion IB de niveau supérieur est pris en compte par l'analyseur syntaxique CIM. S'il est explicitement défini, la valeur du champ *Ground_id* doit correspondre à celle des broches GND définies dans la section *Lead_definitions* (voir 6.5).

L'attribut *Type* peut être "PF" pour les essais de réussite/échec ou "NPF" pour les essais de non-réussite/échec.

L'attribut *Level* définit le niveau de tolérance défini lors de l'essai par rapport au signal OO nominal. Pour des raisons de simplicité, la valeur de l'attribut *Level* doit être définie avec des unités, comme indiqué en A.2.5.3 (par exemple: Level="+200 mV"). S'il est nécessaire de définir plusieurs niveaux de tolérance, ces niveaux doivent être représentés comme valeurs uniques séparées par une virgule (","). Par exemple, pour définir une limite de tolérance de ± 200 mV, l'élément ci-dessous doit être défini:

```
Level="+200mV,-200mV"
```

S'il est absent, sa valeur par défaut est "None".

La valeur de l'attribut *Parameter* représente le paramètre sur lequel l'essai de réussite/échec ou de non-réussite/échec a été réalisé. Dans CIML version 1, l'attribut *Parameter* accepte les valeurs suivantes:

- "Amplitude" – Le niveau d'essai est défini sur l'amplitude du signal de la broche OO
- "Mean" – Le niveau d'essai est défini sur la moyenne du signal de la broche OO
- "Time" – Le niveau d'essai est défini comme une gigue
- "Duty" – Le niveau d'essai est défini sur le cycle d'utilisation du signal de la broche OO
- "Period" – Le niveau d'essai est défini sur la période du signal de la broche OO
- "BER" – Le niveau d'essai est défini sur le taux d'erreur sur les bits du signal de la broche OO
- "SNR" – Le niveau d'essai est défini sur le rapport signal sur bruit du signal de la broche OO
- "None" – Aucun paramètre n'est défini ou aucun des paramètres ci-dessus (par défaut)

Cette définition n'est pas exhaustive et peut faire l'objet d'améliorations. De nouvelles valeurs peuvent être acceptées dans les versions ultérieures de CIML. En l'absence de valeur spécifiée, la valeur par défaut est "None".

Plusieurs critères d'essai pour la même broche OO peuvent être définis l'un après l'autre. Néanmoins, il n'est pas réaliste de définir plusieurs broches OO dans la même section parent (*Voltage*, *Current* ou *Power*), c'est-à-dire que ce qui suit n'est pas admis:

```
<Lead Id="1" Ground_id="7" Type="DPI">
  <Voltage Param_order ="Freq,Volt" Format="MA">
    <Test_criteria Id="9" Ground_id="8" Type="PF" .../>
    <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF" .../>
  </Voltage>
</Lead>
```

Alors que ce qui suit est admis:

```
<Lead Id="1" Ground_id="7" Type="DPI">
  <Voltage Param_order ="Freq,Volt" Format="MA">
    <Test_criteria Id="9" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Amplitude"/>
    <Test_criteria Id="9" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Time"/>
    ...
  </Voltage>
  <Voltage Param_order ="Freq,Volt" Format="MA">
    <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Amplitude"/>
  </Voltage>
```

```

    <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Time"/>
    ...
  </Voltage>
</Lead>

```

Dans l'exemple ci-dessus, deux données IB pour la broche "1" par rapport à la broche "7" (plan de terre de référence) sont définies à l'aide de deux sections *Voltage* différentes, la connexion "9" étant utilisée comme sortie observable (OO) pour la première et la connexion "10" pour la deuxième. Les deux données sont représentées en tant que grandeurs *Voltage* et représentées en fonction de la connexion "8" en tant que plan de terre de référence. Le même espace de noms que la section *Lead_definitions* doit être respecté (voir 6.5).

Si le champ *Test_criteria* des différentes sections *Voltage*, *Current* ou *Power*, définies dans la même balise *Lead* de niveau supérieur, contient le même *Id* (même référence de broche OO), ces sections sont considérées comme étant mesurées ensemble.

EXEMPLE

```

<Lead Id="1" Ground_id="7" Type="DPI">
  <Voltage Param_order="Freq,Volt" Format="MA">
    <Test_criteria Id="9" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Amplitude"/>
    <Test_criteria Id="9" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Time"/>
    ...
  </Voltage>
  <Voltage Param_order="Freq,Volt" Format="MA">
    <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Amplitude"/>
    <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Time"/>
    ...
  </Voltage>

  <Current Param_order="Freq,Current" Format="MA">
    <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Amplitude"/>
    <Test_criteria Id="10" Ground_id="8" Type="PF"
      Parameter="Time"/>
    ...
  </Current>
</Lead>

```

Dans l'exemple ci-dessus, les sections *Voltage* et *Current*, représentant les données IB obtenues en surveillant la connexion OO "10", sont regroupées par l'analyseur syntaxique CIM. La section *Voltage* avec la surveillance sur la connexion OO "9" est, quant à elle, considérée comme une autre donnée IB pour la même connexion parent *Id*="1".

D'autres détails spécifiques relatifs aux conditions d'essai doivent être définis avec les sections *Notes et Documentation*. Voir E.4 pour de plus amples informations.

6.10.2.8 Param_order

L'attribut *Param_order* indique à l'analyseur syntaxique CIM la manière dont les données IB sont représentées. Les chaînes suivantes sont dédiées à la spécification de l'ordre des paramètres:

- "Freq" et "Frequency": Valeurs de fréquence utilisées pour la définition des paramètres

- "Volt" et "Voltage": Valeurs de tension utilisées pour la définition des paramètres
- "Curr" et "Current": Valeurs de courant utilisées pour la définition des paramètres
- "Pwr" et "Power": Valeurs de puissance utilisées pour la définition des paramètres

En l'absence de valeur spécifiée, sa valeur par défaut est "Freq,Volt" dans la section *Voltage*, "Freq,Curr" dans la section *Current* et "Freq,Pwr" dans la section *Power*.

6.10.2.9 Format

L'attribut *Format* permet de choisir le format des données. Les formats de données valides pour IB sont:

- "RI": format réel/imaginaire
- "DB": Amplitude en échelle de décibels avec déphasage en degrés
- "MA": Amplitude en échelle linéaire avec déphasage en degrés
- "DBMAG": Amplitude en échelle de décibels sans information de phase
- "MAG": Amplitude en échelle linéaire sans information de phase

Ce champ est facultatif. En l'absence de valeur spécifiée, la valeur par défaut est "RI".

6.10.2.10 Unit_freq, Unit_voltage, Unit_current et Unit_power

Les unités de paramètre sont définies dans les balises *Unit_freq*, *Unit_voltage*, *Unit_current* et *Unit_power* pour les grandeurs de fréquence, de tension, de courant et de puissance respectivement. Selon l'élément parent, seules les unités correspondantes sont prises en compte, c'est-à-dire que *Unit_voltage* est admis dans la section *Voltage*, et ainsi de suite. Seul l'attribut *Unit_freq* est défini pour plusieurs sections.

En l'absence de valeur spécifiée, la valeur par défaut de *Unit_freq* est "Hz". Voir le Tableau 17 pour les valeurs par défaut des balises *Unit_voltage*, *Unit_current* et *Unit_power* en fonction du format de données.

Tableau 17 – Valeurs par défaut des balises *Unit_voltage*, *Unit_current* et *Unit_power* en fonction du format de données

Paramètre	Format de données	Valeurs <i>Unit_voltage</i> par défaut	Valeurs <i>Unit_current</i> par défaut	Valeurs <i>Unit_power</i> par défaut
Tension	RI	V	–	–
	MA ou MAG	V	–	–
	DB ou DBMAG	dBV	–	–
Courant	RI	–	A	–
	MA ou MAG	–	A	–
	DB ou DBMAG	–	dBA	–
Puissance	RI	–	–	W
	MA ou MAG	–	–	W
	DB ou DBMAG	–	–	dBW

6.10.2.11 Data_files et List

Les définitions des mots clés *Data_files* et *List* s'apparentent à celles de la définition du PDN (voir 6.8.2.13). La balise *Data_files* est utilisée pour distinguer les données en ligne et les données externes. Si les données PDN sont définies dans au moins un fichier externe, le lien vers le/les fichier(s) doit être spécifié dans la balise *Data_files*. Les données en ligne sont

directement définies dans la balise *Voltage*, *Current* ou *Power* de niveau supérieur d'une balise *List*, le cas échéant. Les fichiers portant les extensions fournies au Tableau 18 sont admis pour décrire les données IB.

Tableau 18 – Extensions valides de fichiers de la section *Ib*

Extension de fichier	Nom commun
dat ou DAT	Fichier de données
csv ou CSV	Comma Separated Values (valeurs séparées par une virgule)
txt ou TXT	Fichier texte

6.10.3 Description

6.10.3.1 Données en ligne

Si les données IB (tension, courant ou puissance) sont définies pour une seule fréquence, elles peuvent l'être directement dans le mot clé de la section correspondante (*Voltage*, *Current* ou *Power*). Si les données IB sont définies pour des fréquences multiples (plusieurs fréquences), les données doivent être écrites dans le mot clé *List* de chaque section. Les unités de fréquence doivent être définies dans le mot clé *Unit_freq*, les unités de tension doivent être spécifiées à l'aide du mot clé *Unit_voltage*, celles du courant à l'aide du mot clé *Unit_current* et les unités de puissance à l'aide du mot clé *Unit_power*. En l'absence de valeurs spécifiées, les valeurs par défaut sont utilisées (voir 6.10.2.10). Voir A.2.5 pour les valeurs ou unités valides.

L'exemple suivant représente les données IB, obtenues par suite d'un essai DPI, et représentant la puissance transmise sur la connexion "1" dans les conditions d'essai suivantes: La broche avec Id="9" est surveillée avec les critères de réussite/échec selon un niveau de tolérance de $\pm 2,5$ V par rapport à l'amplitude de tension de sortie nominale, et de ± 5 μ s par rapport à la distorsion de tension de sortie nominale dans le temps. L'essai est réalisé avec un niveau de puissance maximale de 35 dBm (dans toutes les fréquences soumises aux essais) injectée sur la connexion "1". Seule l'amplitude de la puissance de sortie en watts (W) est représentée.

```
<Ib>
  <Lead Id="1" Ground_id="7" Type="DPI">
    <Max_power_level Value="35dBm"/>
    <Power Param_order ="Freq,Power" Format="DBMAG">
      <Test_criteria Id="9" Type="PF" Level="+2.5V,-2.5V"
        Parameter="Amplitude"/>
      <Test_criteria Id="9" Type="PF" Level="+5us,-5us"
        Parameter="Time"/>
      <Blockname>Block_OOPin1</Blockname>
      <Unit_freq>MHz</Unit_freq>
      <Unit_power>W</Unit_power>
      <List>
        1 1.536571142
        2 0.8327052017
        3 0.9596036832
        4 0.8646181202
        5 0.7045024392
        ...
      </List>
    </Power>
  </Lead>
</Ib>
```

Les données IB peuvent être obtenues par mesurages DPI ou RFIP (voir 7.4).

6.10.3.2 Données du fichier externe

Comme indiqué en 6.10.2.11, pour inciter l'analyseur syntaxique CIM à utiliser le fichier de données externe nécessaire au format ASCII, la définition doit être créée à l'aide du mot clé *Data_files* des sections *Voltage*, *Current* ou *Power*. Toutes les autres règles sont identiques à celles présentées avec la définition des données en ligne de 6.10.3.1. Un exemple de fichier IB est donné à la Figure 19. Noter que toutes les lignes de commentaire, le cas échéant, sont indiquées par un point d'exclamation (!) placé au début de la ligne, mais elles ne sont pas analysées par l'analyseur syntaxique CIM.

```
! f (Hz)      Pt (W)
!Monitoring on LIN
1000000      0.01210474359
2000000      0.004227117987
3000000      0.002897663639
4000000      0.002649712504
5000000      0.00250762503
6000000      0.002345954784
7000000      0.002308431188
8000000      0.002346253032
9000000      0.002633505446
10000000     0.00246788178
15000000     0.008718441842
20000000     0.01087608427
25000000     0.007527113401
30000000     0.007196132914
35000000     0.007041186572
40000000     0.006978506095
45000000     0.007011565952
50000000     0.009056521981
...
```

IEC

Anglais	Français
!Monitoring on LIN	!Surveillance de LIN

Figure 19 – Exemple de fichier IB obtenu par suite d'un mesurage DPI

Ces informations peuvent être obtenues par des méthodes de mesure DPI ou RFIP (voir 7.4). Un exemple de section *Ib*, définie à l'aide des données IB d'un fichier externe, est présenté ci-dessous:

```
<Ib>
  <Lead Id="1" Ground_id="7" Type="DPI">
    <Max_power_level Value="35dBm"/>
    <Power Param_order ="Freq,Power" Format="DBMAG">
      <Test_criteria Id="9" Ground_id="7" Type="PF"
        Level="+2.5,-2.5V" Parameter="Amplitude"/>
      <Test_criteria Id="9" Ground_id="7" Type="PF"
        Level="+5us,-5us" Parameter="Time"/>
      <Unit_freq>MHz</Unit_freq>
      <Unit_power>W</Unit_power>
      <Data_files>
        IB_DPI_Injection9.txt
      </Data_files>
    </Power>
  </Lead>
</Ib>
```

7 Extraction

7.1 Généralités

Les paramètres du macromodèle ICIM-CI peuvent être extraits de leurs informations de conception ou leurs mesurages. La méthodologie détaillée d'extraction de paramètres de modèle ne fait pas l'objet de la présente partie de l'IEC 62433. L'Article 7 donne les informations de base permettant d'obtenir les paramètres de modèle à partir de mesurages.

7.2 Contraintes environnementales d'extraction

Les extractions de paramètres du macromodèle ICIM-CI doivent être effectuées avec une température ambiante normale de $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Il n'existe aucune autre exigence concernant la pression atmosphérique et l'humidité.

En cas d'utilisation de silicone ouvert, les lumières doivent être tamisées ou mises hors tension afin de ne pas générer d'effet photonique.

NOTE Certains matériaux de substrat sont hygroscopiques, ce qui peut affecter la permittivité du matériau ainsi que sa tangente de perte.

7.3 Extraction PDN

7.3.1 Généralités

L'impédance du PDN est extraite à l'aide de différentes configurations proposées dans la norme CISPR 17. Conformément à ladite norme, l'impédance d'un dispositif en essai (DUT) est mesurée à l'aide d'un appareil de mesure d'impédance et d'un appareillage d'essai.

Une combinaison appropriée d'appareils de mesure et d'appareillage d'essai doit être sélectionnée en fonction de la configuration du DUT et de la fréquence d'essai. L'impédance du PDN pouvant varier avec la polarisation, les éléments PDN doivent être extraits avec le DUT "sous tension" afin de se rapprocher des conditions normales de fonctionnement. Il doit être veillé à ne pas appliquer une polarisation trop forte sur le DUT.

Une organisation nationale de normalisation doit pouvoir tracer le système de mesure. Le système de mesure et l'appareillage d'essai doivent être correctement étalonnés comme indiqué dans les manuels d'instruction de l'appareil.

Plusieurs méthodes permettent d'extraire ces paramètres PDN. Elles sont brièvement décrites en 7.3.2 et en 7.3.3.

7.3.2 Mesurage de paramètres $S/Z/Y$

Une méthode de mesure des paramètres de réseau du DUT (paramètres S , Z ou Y) consiste à utiliser un appareil de mesure d'impédance. Selon la norme CISPR 17, le mesurage d'impédance d'un DUT est réalisé de deux manières: la méthode directe et la méthode indirecte.

Dans la méthode directe, l'impédance doit être mesurée en insérant le DUT dans l'appareillage d'essai et en balayant la fréquence de mesure avec l'appareil de mesure d'impédance. La relation entre l'impédance et la fréquence doit être enregistrée dans la plage de fréquences exigée.

Dans la méthode indirecte, l'impédance d'un DUT peut être évaluée à partir de ses paramètres S . Dans ce cas, les paramètres S sont mesurés à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel dans la plage de fréquences exigée. En règle générale, les analyseurs de réseau vectoriel modernes intègrent une fonction de calcul des impédances.

Le montage de mesure peut varier en fonction du type de broche d'essai (asymétrique ou différentielle). Ces méthodes sont décrites à l'Annexe F.

La conversion entre différents paramètres de réseau est donnée à l'Annexe C.

7.3.3 Technique RFIP

Les éléments PDN peuvent être extraits avec une méthode de mesure reposant sur un montage d'essai DPI (IEC 62132-4).

Les sondes peuvent être passives (éléments R, L, C) ou actives (R, L, C et transistors). Par conséquent, l'étalonnage de ces sondes est exigé. L'impédance de broche est extraite des mesurages de la tension et du courant.

Une sonde permet de mesurer l'impédance d'une broche (un accès). Pour plusieurs mesurages d'accès (broche multiple), plusieurs sondes sont exigées.

Une description détaillée de la technique RFIP est disponible à l'Annexe G.

7.4 Extraction IB

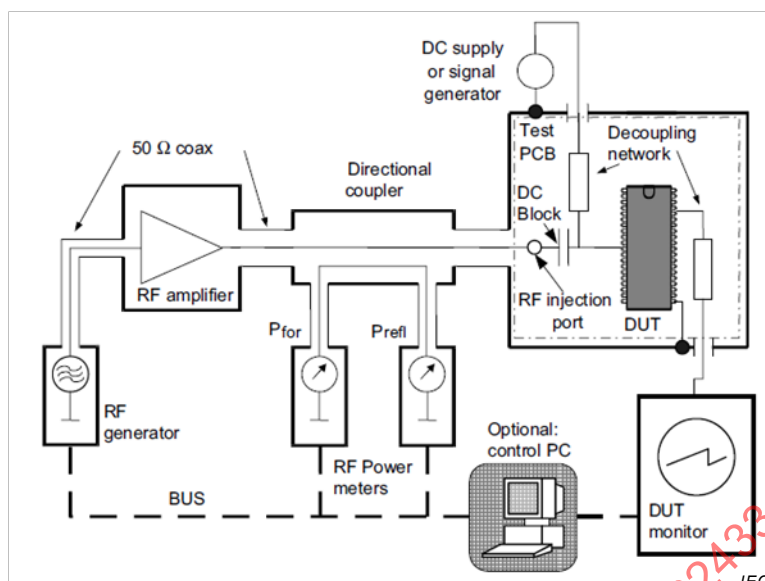
7.4.1 Généralités

Comme indiqué en 5.4, le composant IB du macromodèle ICIM-CI décrit la manière dont le CI réagit aux perturbations appliquées. La perturbation peut être injectée dans une ou plusieurs connexions de CI en même temps. L'IB est défini dans le domaine fréquentiel en représentant la puissance transmise (P_T) sur la/les broche(s) DI en fonction de la fréquence, ainsi que les variations sur une ou plusieurs sorties observables (OO). Le seuil de puissance transmise est la puissance intrinsèque qui induit un dysfonctionnement. La variation du signal au niveau de la sortie observable (OO) est considérée comme étant dépendante de la puissance transmise qui entre dans le dispositif.

Plusieurs méthodes permettent d'extraire ces paramètres IB. Deux d'entre elles sont décrites en 7.4.2 et 7.4.3.

7.4.2 Méthode d'essai d'injection directe de puissance RF

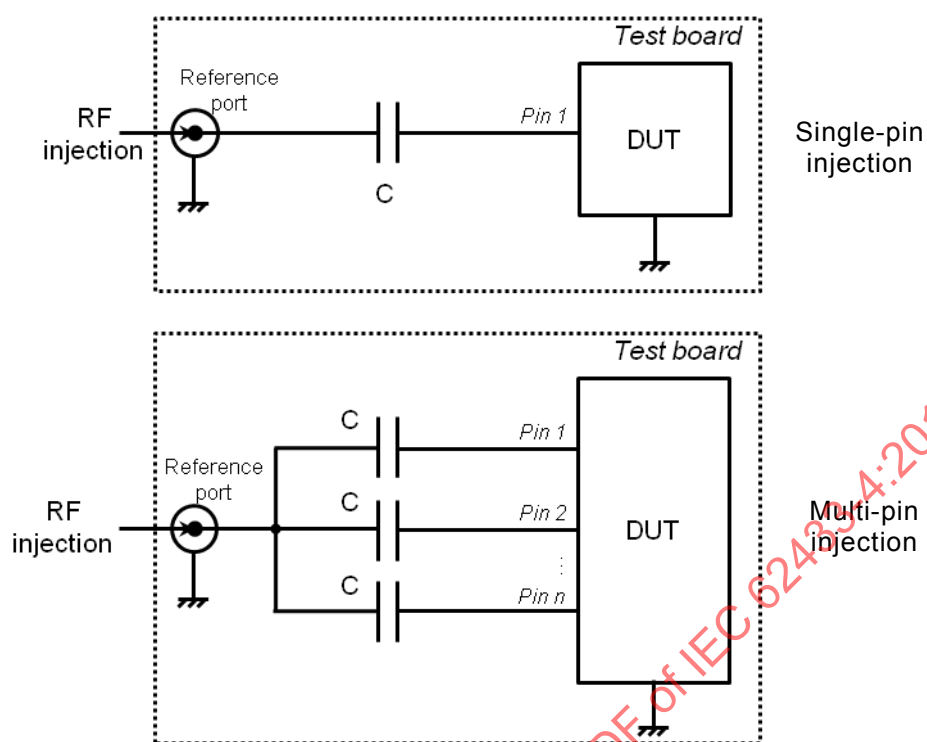
La méthode de mesure de l'injection directe de puissance RF (DPI) est une technique acceptée au niveau international visant à vérifier la robustesse d'un CI face à un signal radioélectrique injecté. Les exigences de cette méthode de mesure sont définies dans l'IEC 62132-4. Le montage d'essai est présenté à la Figure 20.



Anglais	Français
50 Ω coax	Câble coaxial de 50 Ω
RF amplifier	Amplificateur RF
RF generator	Générateur RF
DC supply or signal generator	Alimentation en courant continu ou générateur de signal
Directional coupler	Coupleur directif
RF Power meters	Appareils de mesure de la puissance RF
Test PCB	CCI d'essai
DC Block	Bloc en courant continu
Decoupling network	Réseau de découplage
RF injection port	Accès d'injection RF
Optional: control PC	Facultatif: PC de commande
DUT monitor	Écran du DUT

Figure 20 – Montage d'essai de la méthode de mesure d'immunité DPI tel que spécifié dans l'IEC 62132-4

Le signal de perturbations radioélectriques à ondes entretenues (CW – continuous wave) est généré par le générateur RF connecté à l'amplificateur RF. Ce signal est injecté dans la carte d'essai portant le CI d'essai par l'intermédiaire d'un coupleur directif facultatif. L'utilisation du coupleur directif consiste à mesurer la puissance injectée et réfléchiée, le cas échéant, avec l'utilisation d'appareils de mesure de la puissance RF. Au niveau de l'accès de référence sur la carte d'essai (accès d'injection RF), le signal de perturbations radioélectriques est connecté à une ou plusieurs broches du CI. Un condensateur à blocage de courant continu est utilisé pour éviter de fournir du courant continu à la sortie de l'amplificateur RF. D'autre part, un réseau de découplage est utilisé de manière à empêcher que l'alimentation en courant continu ne reçoive la puissance RF. L'injection à une seule broche ou à broches multiples est représentée à la Figure 21.



IEC

Anglais	Français
RF injection	Injection RF
Reference port	Accès de référence
Test board	Carte d'essai
Pin 1	Broche 1
Single-pin injection	Injection à une seule broche
Multi-pin injection	Injection à broches multiples
Pin 2	Broche 2
Pin 3	Broche 3
Pin n	Broche n

**Figure 21 – Principe d'injection directe de puissance (DPI)
à une seule broche et à broches multiples**

La procédure d'essai est la suivante:

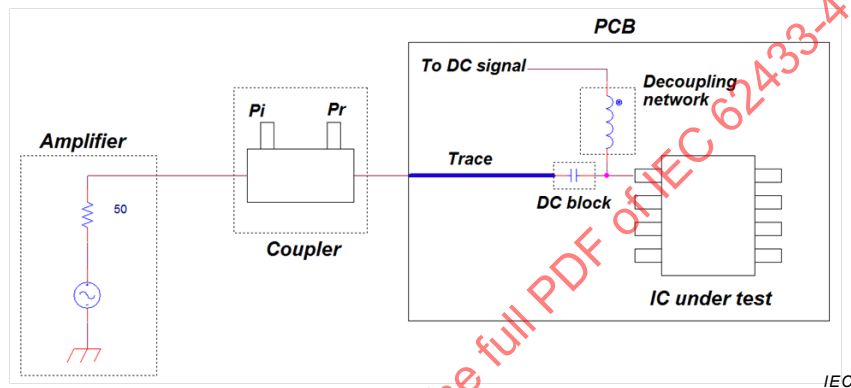
- La puissance du signal de perturbations augmente pas à pas à chaque fréquence considérée, tant que la broche OO du DUT ne présente pas de dysfonctionnement.
- Un temps de tenue suffisant est choisi de manière à ce que le DUT puisse réagir au signal de perturbations.
- Un niveau de puissance d'injection maximal peut également être défini pendant les essais.
- À chaque fréquence, le niveau de puissance auquel un dysfonctionnement est induit est mesuré avec un appareil de mesure de la puissance sur les accès de coupleur utilisés. Le cas échéant, la puissance injectée et la puissance réfléchie peuvent être mesurées simultanément. Si le coupleur n'est pas utilisé, le niveau de puissance RF est directement mesuré à la sortie de l'amplificateur RF.

Selon les grandeurs mesurées, la méthode d'extraction de la puissance transmise à la connexion d'essai varie. Voir l'IEC 62132-4 pour de plus amples informations sur la méthode d'essai DPI.

Si la puissance injectée (P_i) et la puissance réfléchie (P_r) sont mesurées sur le coupleur bidirectionnel, il est possible de calculer la puissance transmise (P_{Tref}) sur l'accès de référence à l'aide de l'équation suivante:

$$P_{Tref} = P_i - P_r$$

Cette puissance correspond à la puissance transmise au niveau de l'accès de référence sur la carte d'essai. Pour calculer la puissance réelle transmise injectée sur la broche de connexion, les simulations électriques doivent être réalisées de manière à tenir compte des traces et des autres éléments connectés à l'accès de référence. Cela est représenté à la Figure 22.



Anglais	Français
Amplifier	Amplificateur
Coupler	Coupleur
To DC signal	Vers le signal en courant continu
PCB	CCI
Decoupling network	Réseau de découplage
DC block	Bloc en courant continu
IC under test	CI en essai

Figure 22 – Représentation électrique du montage d'essai DPI

Les traces sur la CCI et autres composants passifs (le condensateur de bloc en courant continu et le réseau de découplage, par exemple) doivent être modélisées avec exactitude avec leurs modèles haute fréquence respectifs. La broche DI en essai est représentée par son PDN mesuré à l'aide de l'une des méthodes présentées en 7.3. Étant donné que P_i est mesuré, la tension d'injection équivalente (e) peut être calculée par l'équation suivante:

$$P_i = \frac{e^2}{4Z_0}$$

avec $Z_0 = 50 \Omega$. La puissance transmise à la broche DI (P_T) peut être calculée à partir de la tension (V_{DUT}) et du courant simulé (I_{DUT}) au niveau de l'accès de référence par l'équation suivante:

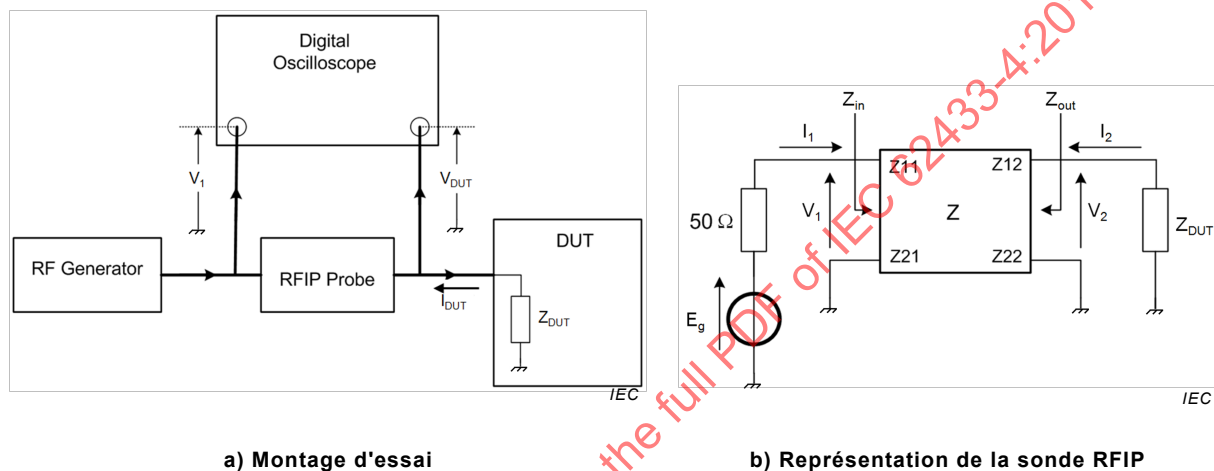
$$P_T = \frac{1}{2} \text{Re} [V_{DUT} I_{DUT}^* + V_{DUT}^* I_{DUT}]$$

Si le coupleur n'est pas utilisé, la même technique peut être appliquée, sauf que la puissance injectée (P_i) est la puissance RF à l'étage amplificateur.

Si l'extraction de l'IB repose sur l'utilisation de mesurages (de l'IEC 62132-4, par exemple), alors la plage de fréquences valides de l'IB correspond à la norme correspondante.

7.4.3 Méthode d'essai de sonde d'injection RF

La méthode de sonde d'injection RF (RFIP) est déduite de la méthode d'essai d'immunité DPI. La sonde applique la perturbation et mesure la tension aux bornes du DUT (V_1 et V_{DUT}). Les paramètres I_{DUT} , P_{DUT} et Z_{DUT} sont alors calculés. Un oscilloscope est utilisé pour mesurer V_1 et V_{DUT} dans le domaine temporel. Le calcul est réalisé dans le domaine fréquentiel grâce à un traitement réalisé à l'aide d'un outil logiciel.



Anglais	Français
Digital Oscilloscope	Oscilloscope numérique
RF Generator	Générateur RF
RFIP Probe	Sonde RFIP

Figure 23 – Montage d'essai de la méthode de mesure RFIP déduite de la méthode DPI

Cette méthode repose sur les mesurages de courant et de tension. Ainsi, cette méthode permet d'obtenir directement les paramètres d'immunité.

La sonde d'injection RF est définie par la matrice Z caractérisée par les mesurages de paramètre S à deux accès (voir la Figure 23). Tous les paramètres électriques essentiels, à savoir I_{DUT} , Z_{DUT} et P_{DUT} , peuvent être calculés en fonction du mesurage des tensions V_{DUT} et V_1 .

Il doit être noté que Z_{DUT} de la broche DI particulière est définie dans la partie PDN du macromodèle ICIM-CI. En fonction de ces éléments fondamentaux, le RFIP permet de mesurer la puissance transmise dans le DUT (P_T). La méthode de mesure est expliquée en détail à l'Annexe G. La puissance transmise est calculée à partir des équations suivantes:

$$P_T = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left[\frac{V_{DUT} V_{DUT}^*}{Z_{DUT}} \right] = \frac{1}{2} \operatorname{Re} [I_{DUT} I_{DUT}^* Z_{DUT}]$$

Même si l'IB est toujours considéré comme étant la puissance transmise dans le domaine fréquentiel, il est possible de le représenter comme une grandeur de tension ou de courant compte tenu de la relation inhérente entre V_{DUT} , I_{DUT} et P_T .

Si les données IB sont représentées en utilisant la tension complexe V_{DUT} ou le courant complexe I_{DUT} , P_T est calculé à l'aide de Z_{DUT} disponible dans le PDN. Dans ces cas, il est obligatoire de définir V_{DUT} et I_{DUT} comme une grandeur complexe. Si P_T est défini comme IB, il est directement utilisé et peut être représenté dans n'importe quel format (réel ou complexe).

Si la méthode d'essai RFIP est utilisée, la plage de fréquences valides de l'IB du macromodèle ICIM-CI extrait à l'aide de RFIP est la même que celle des données de mesure.

7.4.4 Tableau de données IB

Dans le cas le plus simple, un tableau récapitule la puissance transmise correspondant au niveau auquel la défaillance se produit. L'exemple de données IB d'un régulateur de tension, obtenues suite au mesurage DPI, est représenté au Tableau 19. La puissance injectée à l'origine du dysfonctionnement sur une connexion OO choisie est utilisée pour calculer la puissance transmise (voir 7.4.2). Les critères d'immunité définis par l'utilisateur ont été appliqués à la connexion OO et un essai de réussite/échec binaire est réalisé. Des détails supplémentaires relatifs au montage d'essai et aux critères d'essai sont donnés à l'Article 9.

Tableau 19 – Exemple de critères de réussite/échec du tableau IB

Fréquence (MHz)	P_T (dBm)
1	18,11
2	23,15
3	22,10
4	21,13
5	18,04
10	10,82
50	9,25
100	16,88
200	7,95
500	12,34
980	31,40

NOTE Seules quelques valeurs d'immunité ont été répertoriées à titre informatif.

Le Tableau 19 peut également être représenté en incluant toutes les fréquences soumises à des essais, que le dysfonctionnement se soit produit ou pas.

Il est également possible de représenter les données IB en utilisant un type d'essai de non-réussite/échec. Dans de tels cas, le tableau IB doit contenir la puissance transmise maximale (par rapport à la fréquence) avant qu'une variation de la sortie observable (OO) ne soit induite. Un exemple de données est représenté à la Figure H.1 (voir l'Annexe I).

7.5 IBC

L'impédance IBC peut être déduite de l'impédance de la broche d'alimentation ($V_{DD} - V_{SS}$) en soustrayant la partie de l'impédance appartenant au PDN. Il convient d'élaborer une méthode détaillée dans le futur.

8 Validation des hypothèses ICIM-CI

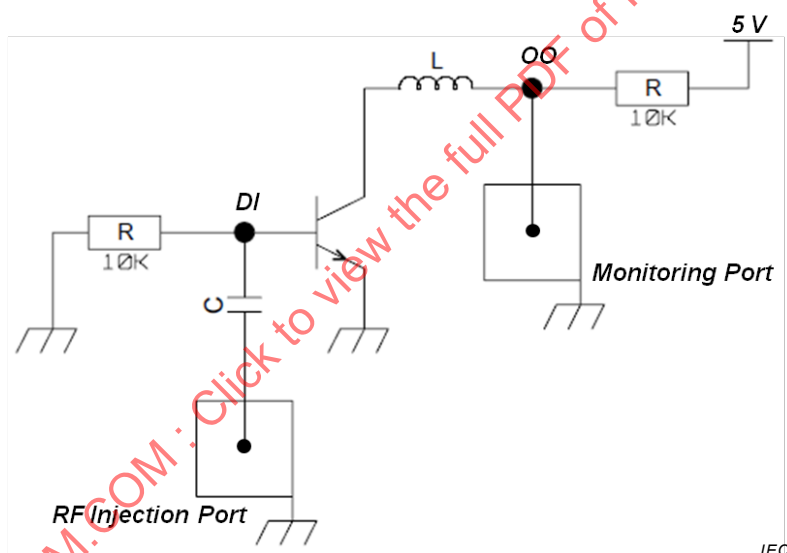
8.1 Généralités

La structure du modèle repose sur des hypothèses nécessitant d'être vérifiées afin de valider le modèle et de justifier son aptitude à prévoir le comportement CEM dans d'autres conditions que celle utilisée pour extraire le modèle.

La première hypothèse est liée à l'utilisation des paramètres de réseau (S , Z ou Y) pour décrire le PDN du composant ou, plus généralement, à la description sans tenir compte des effets non linéaires.

La deuxième hypothèse repose sur l'utilisation du critère de puissance transmise comme paramètre pertinent pour définir et exprimer l'immunité du dispositif.

Ces deux hypothèses sont validées par un exemple de transistor (dispositif non linéaire). Le montage d'essai est représenté à la Figure 24. La base et l'émetteur du transistor sont mis à la terre (raccordés à une référence 0 V) et le collecteur est polarisé avec une alimentation de 5 V. La base est la borne DI et le collecteur est la borne OO surveillée pour détecter les défauts, avec une tolérance de ± 200 mV sur l'amplitude.



Anglais	Français
Monitoring Port	Accès de surveillance
RF Injected Port	Accès d'injection RF

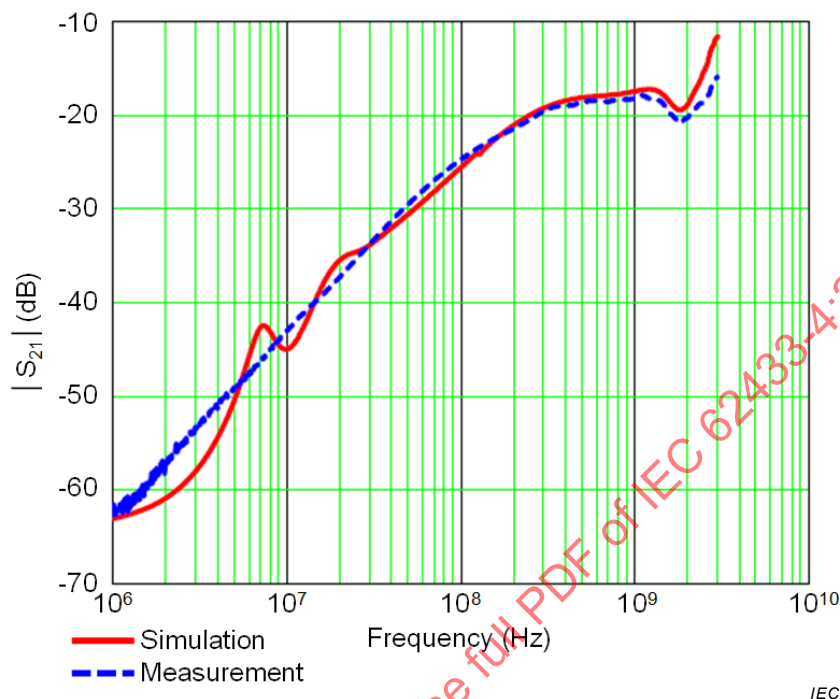
Figure 24 – Exemple de montage utilisé pour représenter les hypothèses ICIM-CI

8.2 Linéarité

Il paraît évident qu'une perturbation d'un circuit intégré peut également être provoquée par un effet non linéaire. Néanmoins, la présente approche part du principe que ce comportement non linéaire peut être négligé dans la description du PDN tant qu'un dysfonctionnement ne se produit pas. Cette hypothèse doit être vérifiée pour valider le modèle.

Cela peut être validé en mesurant les fonctions de transfert avec un analyseur de réseau, pour la puissance incidente proche du niveau de perturbation identifié lors de l'essai DPI (s'il s'agit de la méthode utilisée pour caractériser le dispositif). Le niveau est en général établi à 6 dB sous le seuil de susceptibilité pour procéder au mesurage. Ce résultat peut alors être comparé au résultat d'une simulation reposant sur des modèles linéaires (les paramètres S , par exemple).

Si l'écart entre les deux résultats n'est pas supérieur à 3 dB, il peut être conclu que l'hypothèse de linéarité est vérifiée et que le modèle est validé à cet égard. La Figure 25 donne un exemple de comparaison entre le mesurage et la simulation pour un coefficient $|S_{21}|$, correspondant au coefficient de transmission entre la base et le collecteur du transistor représenté à la Figure 24.



Anglais	Français
Simulation	Simulation
Measurement	Mesurage
Frequency	Fréquence

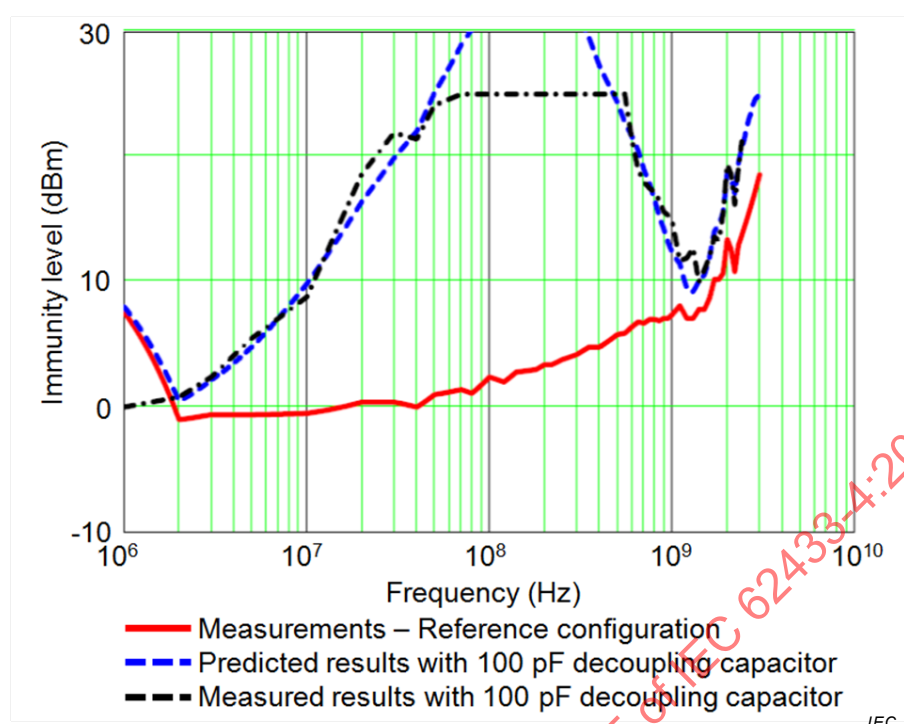
Figure 25 – Exemple de validation de l'hypothèse de linéarité

8.3 Critère d'immunité par rapport à la puissance transmise

La deuxième hypothèse consiste à considérer qu'un circuit intégré est perturbé pour une puissance transmise donnée sur une broche et que cela peut être considéré comme une donnée intrinsèque pour le composant. Cela signifie que l'environnement (filtrage, disposition de CCI, etc.) agit uniquement dans la fonction de transfert des perturbations jusqu'aux entrées du CI, mais pas sur le seuil de puissance transmise à l'origine d'un dysfonctionnement.

Pour valider cela, il est recommandé de procéder à des essais DPI (s'il s'agit de la méthode utilisée pour caractériser l'immunité du dispositif) dans deux configurations. La première est utilisée pour extraire le seuil de puissance transmise. La deuxième peut consister à ajouter des filtres classiques tels que ceux envisagés dans l'application. Selon le modèle établi, les performances de cette deuxième configuration peuvent être prévues et cette prévision comparée à l'expérience. La corrélation permet de valider les performances prédictives du modèle, ainsi que l'utilisation de la puissance transmise comme critère pertinent de description de l'immunité d'un dispositif.

Un exemple de prévision est représenté à la Figure 26, permettant la validation de cette deuxième hypothèse sur le montage représenté à la Figure 24. Le niveau d'immunité de la Figure 26 correspond à la puissance injectée sur la base du transistor (DI) dont un défaut a été observé sur la broche du collecteur (OO) pour une tolérance d'amplitude de ± 200 mV.



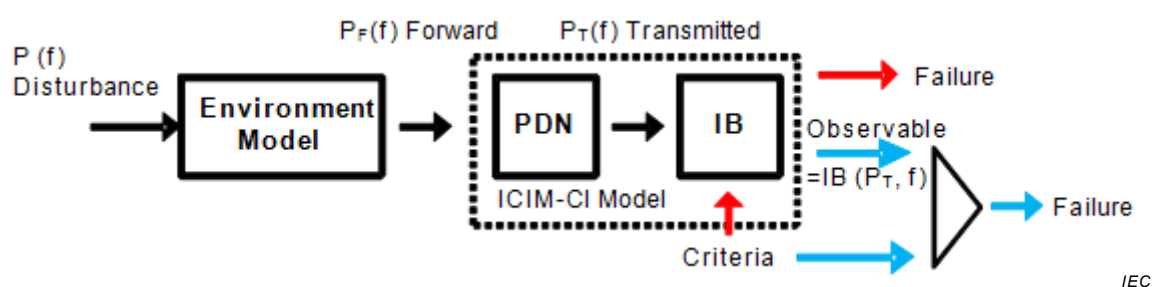
Anglais	Français
Immunity level	Niveau d'immunité
Frequency	Fréquence
Measurements – Reference configuration	Mesurages – Configuration de référence
Predicted results with 100pF decoupling capacitor	Résultats prévus avec condensateur de découplage de 100 pF
Measured results with 100pF decoupling capacitor	Résultats mesurés avec condensateur de découplage de 100 pF

Figure 26 – Exemple de validation de critère de puissance transmise

Dans la Figure 26, il convient de noter que les résultats prévus sont en bonne corrélation avec les résultats mesurés à l'aide d'un condensateur de découplage de 100 pF. Entre environ 50 MHz et 500 MHz, les résultats mesurés ont atteint le niveau de puissance maximale admis (25 dBm dans le cas présent), alors que les résultats prévus peuvent dépasser ce niveau.

9 Utilisation du modèle

Comme cela a été indiqué, les sous-modèles PDN et IB du macromodèle ICIM-CI sont valides dans les conditions dans lesquelles ils ont été établis. Néanmoins, le macromodèle ICIM-CI peut être utilisé dans la simulation au niveau de l'application, dans des simulateurs de type SPICE, intégrant des composants externes (modèles d'environnement) tels que des condensateurs de découplage, des composants de filtre et des parasites de piste CCI. Un exemple d'utilisation d'un macromodèle ICIM-CI est donné à la Figure 27.



Anglais	Français
Disturbance	Perturbation
Environment Model	Modèle d'environnement
Forward	Direct
Transmitted	Transmise
Failure	Défaillance
ICIM-CI Model	Modèle ICIM-CI
Criteria	Critères

Figure 27 – Utilisation du macromodèle ICIM-CI pour la simulation

La prévision de défaillance obtenue suite à la simulation dépend du bloc IB lui-même. Si l'IB a été déterminé par une méthode de réussite/échec binaire (le critère d'immunité est déjà intégré dans l'IB), les simulations peuvent directement estimer la défaillance. Le flux de simulation est représenté par des flèches rouges dans la Figure 27. Un exemple d'application reposant sur un essai de réussite/échec et visant à prévoir le comportement d'immunité du CI (défaillance) est présenté à l'Annexe H.

Toutefois, une défaillance ne peut pas être détectée par le bloc IB directement s'il a été extrait en utilisant un essai de non-réussite/échec. La défaillance doit être détectée en surveillant la puissance transmise simulée et les données comportementales fournies par le bloc IB. Les données obtenues par la simulation sont analogiques et non pas binaires. Les critères d'immunité doivent être appliqués à ce stade pour prévoir la défaillance du CI. Le flux de simulation correspondant à ce cas est représenté par des flèches bleues dans la Figure 27. Un exemple d'utilisation de résultat d'essai de non-réussite/échec pour prévoir la défaillance du CI est présenté à l'Annexe I.

Annexe A (normative)

Définitions préliminaires pour la représentation XML

A.1 Éléments de base XML

A.1.1 Déclaration XML

Même si la déclaration XML est facultative dans un fichier XML, le fichier de macromodèle ICIM-CI doit en contenir une, dédiée aux analyseurs syntaxiques XML de base.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
```

La déclaration XML doit être la première ligne du fichier.

A.1.2 Éléments de base

Toutes les informations sont sauvegardées sous la forme d'éléments XML. Chaque élément commence par une balise de début et se termine par une balise de fin. La balise de début est composée d'un mot clé placé entre des chevrons (<Keyword>). La balise de fin est composée du même mot clé précédé du caractère "/", l'ensemble étant placé entre les chevrons (</Keyword>). Le contenu sous forme de texte est placé entre une balise de début et une balise de fin.

Un exemple d'élément est donné ci-dessous:

```
<Keyword>           <!-- balise de début -->
    texte           <!-- contenu -->
</Keyword>          <!-- balise de fin -->
```

Il est également admis d'écrire un élément sur la même ligne, par exemple pour inclure un court contenu:

```
<Keyword>texte</Keyword>
```

Le contenu d'un élément peut être composé d'un ou de plusieurs éléments ou d'une valeur (numérique ou alphanumérique). Par souci de clarté, des caractères de tabulation peuvent être utilisés pour l'indentation. Sauf s'ils sont utilisés pour encadrer des mots clés, les chevrons "<" et ">" ne doivent pas faire partie du contenu.

Le texte doit utiliser les caractères du jeu UTF-8 (l'espace " ", "<", ">", "&" ne sont pas inclus).

Un élément vide peut être inclus pour indiquer qu'il existe un mot clé particulier, mais il n'a pas de contenu:

```
<élément_vide/>
```

A.1.3 Élément racine

Le fichier XML doit contenir un seul et unique élément racine. Il encadre tous les autres éléments et est donc le seul élément parent de tous les autres éléments. La balise de début de l'élément racine est placée au début du fichier ou après la déclaration XML, le cas échéant. La balise de fin de l'élément racine est la dernière entrée du fichier.

Le mot clé de l'élément racine ne doit pas être utilisé à d'autres fins dans le fichier XML.

A.1.4 Commentaires

Les commentaires peuvent être insérés dans le fichier, entre "<!--" et "-->". Un exemple est présenté ci-dessous:

```
<!-- cette ligne est un commentaire -->
```

Les commentaires peuvent être insérés n'importe où dans le fichier (sauf à l'intérieur des balises de début et de fin) et écrits sur une seule ligne ou sur plusieurs lignes. Le texte encadré par des chevrons de commentaire est considéré comme tel et peut être ignoré.

A.1.5 Terminaisons de ligne

Pour faciliter la lisibilité, il est d'usage d'organiser le fichier en lignes. La séquence de terminaison de ligne doit être un caractère de saut de ligne ou un caractère de retour chariot suivi d'un saut de ligne.

A.1.6 Hiérarchie des éléments

L'ordre des éléments n'a pas d'importance, mais leur hiérarchie doit être respectée. Un exemple de disposition est présenté ci-dessous:

```
<Keyword1> ... </Keyword1>
<Keyword2>
  <Keyword21> ... </Keyword21>
  <Keyword22> ... </Keyword22>
</Keyword2>
<Keyword3> ... </Keyword3>
```

A.1.7 Attributs d'élément

Les éléments de mot clé XML peuvent comporter des attributs. Les attributs donnent des informations supplémentaires relatives aux éléments qui ne font pas partie intégrante des données. Les valeurs d'attribut doivent toujours être placées entre guillemets. Des guillemets simples ou doubles peuvent être utilisés. Plusieurs attributs sont séparés par une espace ou par un point-virgule (;). En règle générale, et contrairement aux éléments, les attributs ne peuvent pas contenir plusieurs valeurs et arborescences, sauf pour certaines exceptions en langage XML. Un exemple de définition d'attribut est présenté ci-dessous:

```
<Parent Type="example"; Format="string"/>
```

Dans la syntaxe ci-dessus, *Type* et *Format* sont les attributs du mot clé *Parent*. Les mêmes termes peuvent être définis en tant qu'éléments (voir ci-dessous):

```
<Parent>
  <Type>exemple</Type>
  <Format>chaîne</Format>
</Parent>
```

A.2 Exigences relatives au mot clé

A.2.1 Généralités

Les mots clés, placés dans les balises de début et de fin, sont utilisés pour introduire des descriptions, des valeurs et des sections spécifiques au fichier. Certains mots clés (Unit, List, etc.) peuvent être présents dans plusieurs sections. Un mot clé parent est exigé à chaque fois qu'un mot clé enfant est présent. Les règles ci-dessous permettent de garantir qu'un analyseur syntaxique XML spécifique peut correctement analyser le fichier.

A.2.2 Caractères de mot clé

Les caractères ASCII définis dans l'ISO/IEC 646:1991 doivent être utilisés dans les fichiers. L'utilisation des caractères avec des codes supérieurs au code hexadécimal 07E n'est pas admise. De même, les caractères de contrôle ASCII (ceux numériquement inférieurs à l'hexadécimale 20) ne sont pas admis, sauf pour les tabulations ou dans une séquence de terminaison de ligne.

Les mots clés peuvent uniquement être écrits avec des caractères alphabétiques ou numériques. Les espaces sont interdites. Le cas échéant, le caractère de soulignement (ou trait bas) "_" peut séparer les parties d'un mot clé à plusieurs mots.

A.2.3 Syntaxe de mot clé

Le contenu des fichiers est sensible à la casse. Tous les mots clés doivent être écrits en minuscules et commencer par une majuscule.

A.2.4 Structure de fichier

A.2.4.1 Généralités

Les informations à échanger peuvent être stockées dans un seul fichier ou dans plusieurs fichiers de données. Les règles et lignes directrices ci-dessous permettent de garantir qu'un analyseur syntaxique XML peut trouver les fichiers.

A.2.4.2 Noms de fichier

Pour faciliter la portabilité entre les systèmes d'exploitation, il convient que les noms de fichier soient composés d'un nom de base de quarante caractères au maximum, suivi d'un point ".", puis d'une extension de nom de fichier de quatre caractères au maximum. Le nom de fichier et l'extension doivent utiliser des caractères issus du jeu (l'espace " " 0x20 en étant exclue) présentés en A.1.2. Le nom de fichier doit être défini dans le mot clé *Filename* (voir ci-dessous):

```
<Filename>ExampleXML_file.xml</Filename>
```

A.2.4.3 Chemins de fichier

Pour assurer la portabilité et la compressibilité, seuls les chemins relatifs peuvent être utilisés pour définir un nom de chemin d'accès. Un chemin absolu n'est pas exportable et n'est pas admis. Le chemin relatif doit commencer par "../" pour indiquer que le nom du chemin d'accès du fichier sera ajouté au chemin du fichier XML en cours. Il n'est pas admis d'accéder à un niveau supérieur à partir du chemin XML en cours (à l'aide de "../", par exemple). Un nom de fichier sans "../" est censé se trouver dans le même répertoire que le fichier XML en cours.

A.2.4.4 Fichier XML unique

Si les informations sont contenues dans un seul fichier XML, il doit satisfaire aux règles et lignes directrices applicables aux fichiers XML comme indiqué précédemment.

Les données sont incluses dans la section PDN ou IB du fichier à l'intérieur de l'élément XML à l'aide du mot clé "List", à chaque fois que cela est exigé.

A.2.4.5 Fichiers XML multiples

Le document XML est divisé en plusieurs sections dont l'élément racine est le parent. Les informations du modèle sont définies dans la section racine à l'aide de mots clés tels que PDN, IB etc. Chaque fichier XML peut contenir une ou plusieurs sections et doit satisfaire aux règles et lignes directrices applicables aux fichiers XML comme indiqué précédemment. Une section doit être présente dans un seul des fichiers XML.

Pour assurer la portabilité et la compressibilité, tous les fichiers XML doivent être placés dans le même répertoire (voir la Figure A.1). L'analyseur syntaxique XML doit analyser tous les fichiers du répertoire principal.

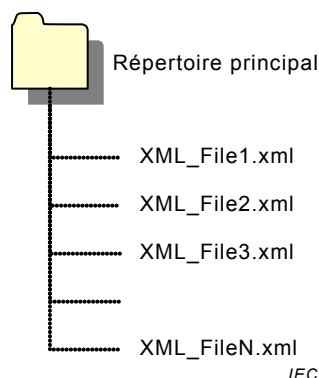


Figure A.1 – Fichiers XML (CIML) multiples

A.2.4.6 Fichiers de données séparés

Les informations peuvent être contenues dans un seul ou dans plusieurs fichiers XML, et les données contenues dans un ou plusieurs fichiers de données supplémentaires. Les fichiers XML doivent satisfaire aux règles et lignes directrices applicables aux fichiers XML, comme indiqué ci-dessus. Les fichiers de données peuvent contenir des lignes de données, et les informations d'en-tête doivent être spécifiées avec un point d'exclamation (!) placé au début de chaque ligne d'en-tête (pas ligne de données). Par exception à cette règle, pour les fichiers de données équipés d'une extension touchstone (*.snp, n = 1,2,...) utilisés pour la définition PDN, la ligne commençant par un dièse (#) est traitée comme la "ligne d'option" qui spécifie le format de données et les unités relatives aux données touchstone. Une seule "ligne d'option" est admise par fichier de données touchstone. Les noms et chemins des fichiers de données sont définis par le mot clé *Data_files* et doivent satisfaire à A.2.4.2 et à A.2.4.3.

Pour assurer la portabilité et la compressibilité, les fichiers de données doivent être placés dans le même répertoire que les fichiers XML ou dans un sous-répertoire situé au même niveau que les fichiers XML ou à un niveau inférieur (voir la Figure A.2). Il n'est pas admis de placer les fichiers supplémentaires à un niveau supérieur à celui des fichiers XML.

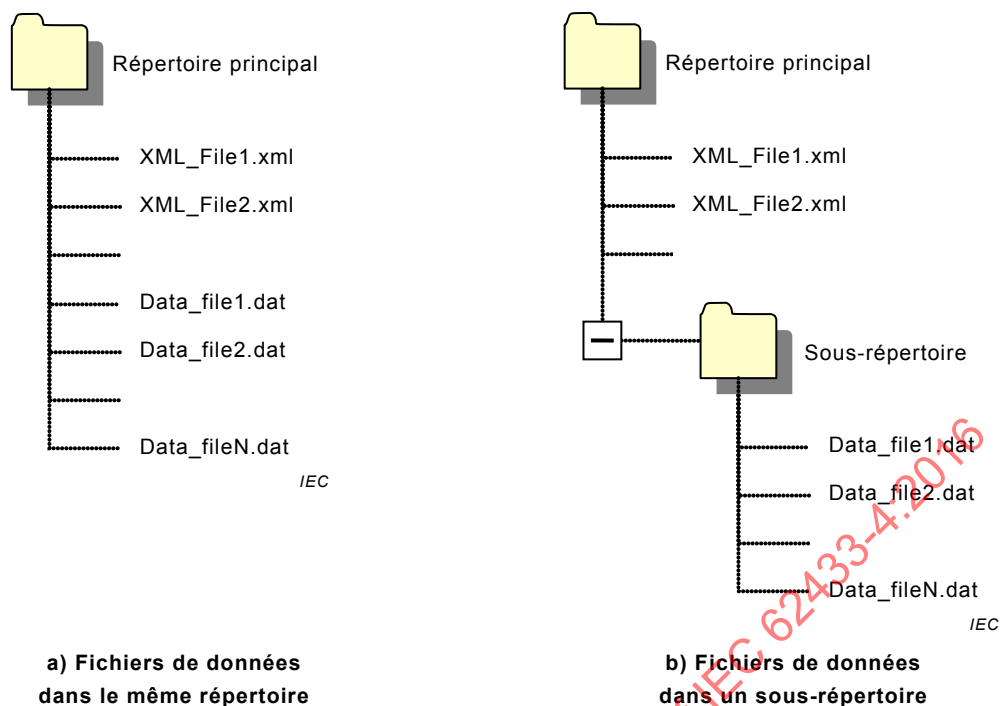


Figure A.2 – Fichiers XML avec fichiers de données (*.dat)

A.2.4.7 Fichiers supplémentaires

Un fichier XML peut contenir des références à d'autres fichiers tels que des fichiers de document (mot clé: *Documentation*). Pour assurer la portabilité et la compressibilité, ces fichiers supplémentaires doivent être placés dans le même répertoire que le fichier XML unique ou dans un sous-répertoire situé au même niveau que les fichiers XML ou à un niveau inférieur (voir la Figure A.3). Il n'est pas admis de placer les fichiers supplémentaires à un niveau supérieur à celui des fichiers XML.

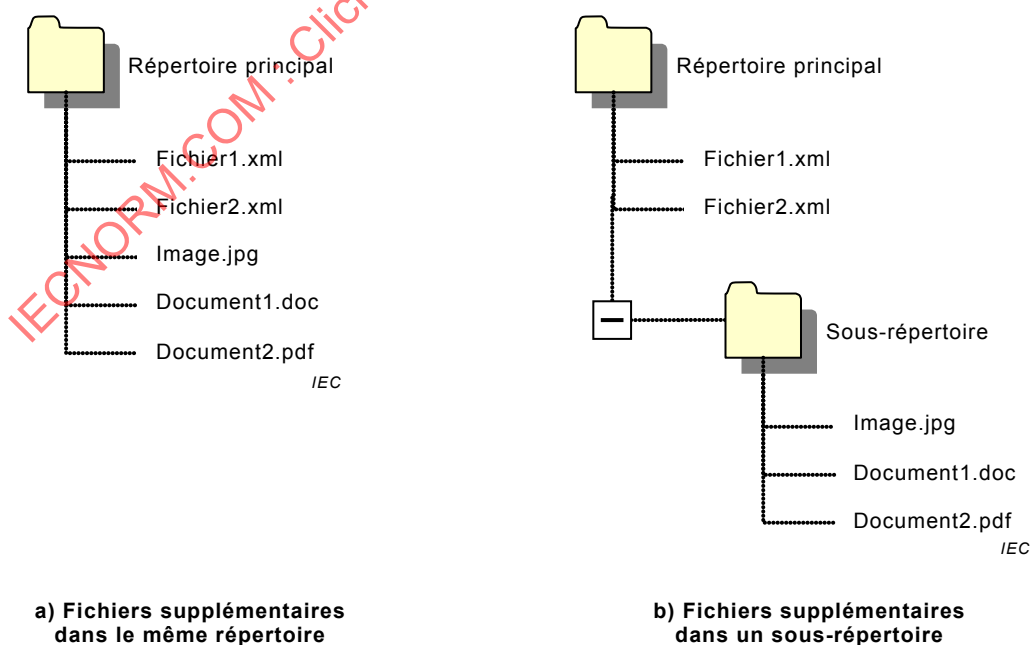


Figure A.3 – Fichiers XML avec fichiers supplémentaires