

	DIN EN 62433-4 (VDE 0847-33-4)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 31.200; 33.100.20 EMV-IC-Modellierung – Teil 4: Modelle integrierter Schaltungen für die Simulation des Verhaltens der HF-Störfestigkeit – Modellierung der Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störungen (ICIM-CI) (IEC 62433-4:2016); Deutsche Fassung EN 62433-4:2016 EMC IC modelling – Part 4: Models of integrated circuits for RF immunity behavioural simulation – Conducted immunity modelling (ICIM-CI) (IEC 62433-4:2016); German version EN 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) (IEC 62433-4:2016); Version allemande EN 62433-4:2016 Gesamtumfang 106 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2016-06-29 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2017-05-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 62433-4 (VDE 0847-33-4):2015-02.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 631 „Halbleiterbauelemente“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 47A „Integrated circuits“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Dokumenten

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1 (1 von 2)

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 62132-1	IEC 62132-1	DIN EN 62132-1 (VDE 0847-22-1)	VDE 0847-22-1
EN 62132-4	IEC 62132-4	DIN EN 62132-4	–
–	IEC/TS 62433-1:2011	–	–
EN 62433-2:2010	IEC 62433-2:2008	DIN EN 62433-2:2010-05	–

Tabelle NA.1 (2 von 2)

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	ISO/IEC 646:1991	DIN 66003:1999-02	–
–	ISO 8879:1986	–	–
EN 55017	CISPR 17	DIN EN 55017 (VDE 0565-17)	VDE 0565-17

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN 66003:1999-02, *Informationstechnik – 7-Bit-Code*

DIN EN 55017 (VDE 0565-17), *Verfahren zur Messung der Entstöreeigenschaften von passiven EMV-Filtern*

DIN EN 62132-1 (VDE 0847-22-1), *Integrierte Schaltungen – Messung der elektromagnetischen Störfestigkeit – Teil 1: Allgemeine Bedingungen und Begriffe*

DIN EN 62132-4, *Integrierte Schaltungen – Messung der elektromagnetischen Störfestigkeit im Frequenzbereich von 150 kHz bis 1 GHz – Teil 4: Verfahren direkter Einspeisung der HF-Leistung*

DIN EN 62433-2:2010-05, *EMV-IC-Modellierung – Teil 2: Modelle integrierter Schaltungen für die Simulation des Verhaltens bei elektromagnetischer Beeinflussung – Modellierung leitungsgeführter Aussendungen (ICEM-CE) (IEC 62433-2:2008); Deutsche Fassung EN 62433-2:2010*

**EMV-IC-Modellierung –
Teil 4: Modelle integrierter Schaltungen für die Simulation des Verhaltens der
HF-Störfestigkeit –
Modellierung der Störfestigkeit gegen leitungsführte Störungen (ICIM-CI)
(IEC 62433-4:2016)**

EMC IC modelling –
Part 4: Models of integrated circuits for RF
immunity behavioural simulation –
Conducted immunity modelling (ICIM-CI)
(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)
(IEC 62433-4:2016)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2016-06-29 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2016 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 62433-4:2016 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 47A/988/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 62433-4, erarbeitet vom SC 47A „Integrated circuits“ des IEC/TC 47 „Semiconductor devices“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 62433-4:2016 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2017-04-21
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2019-10-21

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 62433-4:2016 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe, Abkürzungen und Vereinbarungen	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Abkürzungen	12
3.3 Vereinbarungen	12
4 Grundprinzipien	12
5 Beschreibung des ICIM-CI-Modells	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Beschreibung des PDN	14
5.3 Beschreibung der IBC	16
5.4 Beschreibung des IB	16
6 CIML-Format	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 CIML-Struktur	18
6.3 Globale Schlüsselwörter	19
6.4 Header-Abschnitt	19
6.5 Definition der Anschlussleitungen	20
6.6 SPICE-Makromodelle	21
6.7 Abschnitt mit den Gültigkeitsbedingungen	23
6.7.1 Allgemeines	23
6.7.2 Attributdefinitionen	24
6.8 PDN	25
6.8.1 Allgemeines	25
6.8.2 Attributdefinitionen	26
6.8.3 PDN für einen massebezogenen Eingang oder Ausgang	29
6.8.4 PDN für einen Differenzeingang	37
6.8.5 Beschreibung von Mehr-Port-PDN	40
6.9 IBC	41
6.9.1 Allgemeines	41
6.9.2 Attributdefinitionen	41
6.10 IB	43
6.10.1 Allgemeines	43
6.10.2 Attributdefinitionen	43
6.10.3 Beschreibung	49
7 Herleitung	51

7.1	Allgemeines	51
7.2	Randbedingungen für die Herleitung der Umweltbedingungen	51
7.3	Herleitung des PDN	51
7.3.1	Allgemeines	51
7.3.2	Messung der <i>S</i> -/ <i>Z</i> -/ <i>Y</i> -Parameter	52
7.3.3	RFIP-Verfahren	52
7.4	Herleitung von IB	52
7.4.1	Allgemeines	52
7.4.2	Verfahren der direkten HF-Leistungseinspeisung	52
7.4.3	Verfahren der HF-Einspeisung mit Einkoppelzange	55
7.4.4	IB-Wertetabelle	56
7.5	IBC	56
8	Nachweis der ICIM-CI-Hypothesen	56
8.1	Allgemeines	56
8.2	Linearität	57
8.3	Störfestigkeitskriterien in Abhängigkeit von der übertragenen Leistung	58
9	Nutzung des Modells	59
Anhang A (normativ) Vorläufige Definitionen für die XML-Darstellung		61
A.1	XML-Grundlagen	61
A.1.1	XML-Vereinbarung	61
A.1.2	Grundelemente	61
A.1.3	Wurzelement	61
A.1.4	Kommentare	62
A.1.5	Zeilenabschluss	62
A.1.6	Hierarchie der Elemente	62
A.1.7	Attribute der Elemente	62
A.2	Anforderungen an Schlüsselwörter	62
A.2.1	Allgemeines	62
A.2.2	Zeichen für Schlüsselwörter	63
A.2.3	Syntax für Schlüsselwörter	63
A.2.4	Dateistruktur	63
A.2.5	Werte	65
Anhang B (informativ) Beispiel für ein ICIM-CI mit einer störenden Last		67
Anhang C (informativ) Umrechnungen zwischen Parametertypen		68
C.1	Allgemeines	68
C.2	Massebezogener Eingang oder Ausgang	68
C.3	Differenzeingang oder -ausgang	69
Anhang D (informativ) Beispiel für ein ICIM-CI-Makromodell im CIML-Format		73
Anhang E (normativ) Gültige Schlüsselwörter für CIML und deren Nutzung		78

E.1	Schlüsselwörter für <i>Root element</i>	78
E.2	Schlüsselwörter für den Datei-Header	78
E.3	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Validity</i>	80
E.4	Globale Schlüsselwörter	80
E.5	Schlüsselwort <i>Lead</i>	81
E.6	Attribute für den Abschnitt <i>Lead_definitions</i>	81
E.7	Attribute für den Abschnitt <i>Macromodels</i>	81
E.8	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Pdn</i>	82
E.8.1	Schlüsselwörter für das Element <i>Lead</i>	82
E.8.2	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Netlist</i>	84
E.9	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Ibc</i>	84
E.9.1	Schlüsselwörter für das Element <i>Lead</i>	84
E.9.2	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Netlist</i>	86
E.10	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Ib</i>	86
E.10.1	Schlüsselwörter für das Element <i>Lead</i>	86
E.10.2	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Max_power_level</i>	87
E.10.3	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Voltage</i>	88
E.10.4	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Current</i>	89
E.10.5	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Power</i>	90
E.10.6	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Test_criteria</i>	91
Anhang F (informativ) PDN-Impedanzmessverfahren mit einem Vektor-Netzwerkanalysator		92
F.1	Allgemeines	92
F.2	Übliches 1-Port-Verfahren	92
F.3	2-Port-Verfahren für die niederohmige Messung	92
F.4	2-Port-Verfahren für die hochohmige Messung	93
Anhang G (informativ) Beschreibung des RFIP-Messverfahrens		94
G.1	Allgemeines	94
G.2	Ermittlung der Störfestigkeitsparameter	94
Anhang H (informativ) Simulation der Störfestigkeit mit dem ICIM auf der Basis einer Prüfung, die auf dem Bestehen/Nicht-Bestehen beruht		96
H.1	ICIM-CI-Makromodell einer integrierten Spannungsreglerschaltung	96
H.1.1	Allgemeines	96
H.1.2	Herleitung des PDN	96
H.1.3	Herleitung von IB	96
H.1.4	SPICE-kompatibles Makromodell	97
H.2	Simulation auf der Anwendungsebene und Ausfallvorhersage	97
Anhang I (informativ) Simulation der Störfestigkeit mit dem ICIM auf der Basis einer Prüfung, die nicht auf dem Bestehen/Nicht-Bestehen beruht		99
Literaturhinweise		101

Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	102
--	-----

Bilder

Bild 1 – Beispiel für die Modellstruktur des ICIM-CI	13
Bild 2 – Beispiel für ein ICIM-CI einer elektronischen Leiterplatte	14
Bild 3 – Beispiel für ein IBC-Netzwerk	16
Bild 4 – Darstellung des ICIM-CI mit verschiedenen Blöcken	16
Bild 5 – CIML-Vererbungshierarchie	18
Bild 6 – Beispiel für eine Netzlistendatei zur Definition eines Teilstromkreises	23
Bild 7 – Elektrischer Schaltplan des PDN	30
Bild 8 – Als 1-Port-Blackbox dargestelltes PDN	30
Bild 9 – PDN-Darstellung als S-Parameter im Touchstone-Format	33
Bild 10 – PDN-Darstellung als 2-Port-S-Parameter im Touchstone-Format	33
Bild 11 – Beispielstruktur für die Definition des PDN anhand von Schaltkreiselementen	35
Bild 12 – Beispiel für die Definition einer Netzliste des Hauptstromkreises eines massebezogenen PDN	35
Bild 13 – Beispiel für die Netzliste eines massebezogenen PDN mit den Definitionen von Teilstromkreis und Hauptstromkreis	36
Bild 14 – Schaltplan für einen Differenzeingang	37
Bild 15 – PDN-Darstellung als 2-Port-Blackbox	38
Bild 16 – PDN-Datenformat für einen Differenzeingang oder -ausgang	38
Bild 17 – Beispiel für die Differenzeingänge eines Operationsverstärkers	39
Bild 18 – ICIM-CI für den Schaltkreis 74HC08	40
Bild 19 – Beispiel für eine IB-Datei, die mit einer DPI-Messung ermittelt wurde	50
Bild 20 – Prüfaufbau für das DPI-Verfahren zur Messung der Störfestigkeit nach den Festlegungen in IEC 62132-4	53
Bild 21 – Prinzip der DPI mit einem einzelnen Anschlussstift und mit mehreren Anschlussstiften	53
Bild 22 – Elektrische Darstellung des DPI-Prüfaufbaus	54
Bild 23 – Prüfaufbau für das RFIP-Messverfahren, abgeleitet aus dem DPI-Verfahren	55
Bild 24 – Beispiel für einen Aufbau zur Veranschaulichung der ICIM-CI-Hypothesen	57
Bild 25 – Beispiel für den Gültigkeitsnachweis der Linearitätsannahme	58
Bild 26 – Beispiel für den Nachweis des Kriteriums der übertragenen Leistung	59
Bild 27 – Nutzung des ICIM-CI-Makromodells für die Simulation	59
Bild A.1 – Mehrere XML-(CIML-)Dateien	64
Bild A.2 – XML-Dateien mit Datendateien (*.dat)	64
Bild A.3 – XML-Dateien mit zusätzlichen Dateien	65
Bild B.1 – Anwendung der ICIM-CI-Beschreibung auf eine Oszillatorstufe zur Herleitung des IB	67
Bild C.1 – Massebezogener DI	68
Bild C.2 – Differenz-DI	69
Bild C.3 – 2-Port-Darstellung eines Differenz-DI	69

Bild C.4 – Simulation der Gleichtakteinspeisung in einen Differenz-DI für DPI-Messungen	71
Bild C.5 – Gleichtakt-Ersatzeingangsimpedanz eines Differenz-DI	71
Bild C.6 – Bestimmung der übertragenen Leistung für einen Differenz-DI	71
Bild D.1 – Prüfaufbau für einen LIN-Transceiver	73
Bild D.2 – PDN-Daten im Touchstone-Format (s2p), Daten wurden mit einem VNA gemessen	75
Bild D.3 – PDN-Daten der Anschlussleitungen 6 (LIN) und 7 (VCC)	76
Bild D.4 – IB-Daten im ASCII-Format (.txt), Daten wurden mit dem DPI-Verfahren gemessen – Einspeisung am VCC-Anschlussstift	76
Bild D.5 – IB-Daten für die Einspeisung am VCC-Anschlussstift	77
Bild F.1 – Übliche 1-Port-Messung der S-Parameter	92
Bild F.2 – 2-Port-Verfahren für die niederohmige Messung	92
Bild F.3 – 2-Port-Verfahren für die hochohmige Messung	93
Bild G.1 – Prüfaufbau für das RFIP-Messverfahren, abgeleitet aus dem DPI-Verfahren	94
Bild G.2 – Prinzip der RFIP-Messung	94
Bild H.1 – Elektrischer Schaltplan für die Herleitung des ICIM-CI eines Spannungsreglers	96
Bild H.2 – Herleitung des ICIM-CI für das Beispiel des Spannungsreglers	97
Bild H.3 – Beispiel für ein SPICE-kompatibles ICIM-CI-Makromodell des Spannungsreglers	97
Bild H.4 – Beispiel für eine Simulation eines ICIM-CI eines Spannungsreglers auf der Leiterplatte mit einem Leiterplattenmodell und anderen Komponenten einschließlich parasitärer Elemente	98
Bild H.5 – Störleistung, die erforderlich ist, um mit einem 10-nF-Filter einen Fehler zu erzeugen, als Funktion der Frequenz	98
Bild I.1 – Beispiel einer IB-Datei für ein gegebenes Fehlerkriterium	99
Bild I.2 – Vergleich der simulierten übertragenen Leistung mit dem gemessenen Störfestigkeitsverhalten	100

Tabellen

Tabelle 1 – Attribute des Schlüsselworts <i>Lead</i> im Abschnitt <i>Lead_definitions</i>	20
Tabelle 2 – Kompatibilität zwischen den Feldern <i>Mode</i> und <i>Type</i> für eine korrekte CIML-Notation	21
Tabelle 3 – Definition von <i>Subckt</i>	21
Tabelle 4 – Definition des Abschnitts <i>Validity</i>	23
Tabelle 5 – Definition des Schlüsselworts <i>Lead</i> für den Abschnitt <i>Pdn</i>	26
Tabelle 6 – Gültige Datenformate und ihre Standardeinheiten im Abschnitt <i>Pdn</i>	28
Tabelle 7 – Gültige Dateierweiterung im Abschnitt <i>Pdn</i>	29
Tabelle 8 – Gültige Felder des Schlüsselworts <i>Lead</i> für ein massebezogenes PDN	31
Tabelle 9 – Definition von <i>Netlist</i>	34
Tabelle 10 – Gültige Felder des Schlüsselworts <i>Lead</i> für ein Differenz-PDN	38
Tabelle 11 – Unterschiede zwischen den Feldern in den Abschnitten <i>Pdn</i> und <i>Ibc</i>	42
Tabelle 12 – Gültige Felder des Schlüsselworts <i>Lead</i> für die Definition des IBC	42
Tabelle 13 – Definition des Schlüsselworts <i>Lead</i> im Abschnitt <i>Ib</i>	43
Tabelle 14 – Definition von <i>Max_power_level</i>	44

Tabelle 15 – Definition von <i>Voltage</i> , <i>Current</i> und <i>Power</i>	45
Tabelle 16 – Definition von <i>Test_criteria</i>	46
Tabelle 17 – Standardwerte für die Tags <i>Unit_voltage</i> , <i>Unit_current</i> und <i>Unit_power</i> als Funktion des Datenformats	49
Tabelle 18 – Gültige Dateierweiterungen im Abschnitt <i>Ib</i>	49
Tabelle 19 – Beispiel für eine Tabelle mit Bestanden/Nicht-Bestanden-Kriterien für das IB	56
Tabelle A.1 – Gültige logarithmische Einheiten	66
Tabelle C.1 – Umrechnung massebezogener Parameter	69
Tabelle C.2 – Umrechnung von Differenzparametern	70
Tabelle C.3 – Berechnung der Leistung	72
Tabelle E.1 – Schlüsselwörter für <i>Root element</i>	78
Tabelle E.2 – Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Header</i>	79
Tabelle E.3 – Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Validity</i>	80
Tabelle E.4 – Globale Schlüsselwörter	80
Tabelle E.5 – Definition des Elements <i>Lead</i>	81
Tabelle E.6 – Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Lead_definitions</i>	81
Tabelle E.7 – Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Macromodels</i>	81
Tabelle E.8 – Schlüsselwörter für das Element <i>Lead</i> im Abschnitt <i>Pdn</i>	82
Tabelle E.9 – Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Netlist</i>	84
Tabelle E.10 – Schlüsselwörter für das Element <i>Lead</i> im Abschnitt <i>Ibc</i>	84
Tabelle E.11 – Schlüsselwörter für das Element <i>Lead</i> im Abschnitt <i>Ib</i>	86
Tabelle E.12 – Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Max_power_level</i>	87
Tabelle E.13 – Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Voltage</i>	88
Tabelle E.14 – Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Current</i>	89
Tabelle E.15 – Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Power</i>	90
Tabelle E.16 – Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Test_criteria</i>	91

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 62433 legt einen Ablauf für die Ableitung eines Makromodells fest, mit dem die Simulation der Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störungen einer integrierten Schaltung (en: integrated circuit (IC)) möglich ist. Dieses Modell wird allgemein als Modell der Störfestigkeit integrierter Schaltungen gegen leitungsgeführte Störungen (en: Integrated Circuit Immunity Model – Conducted Immunity, ICIM-CI) bezeichnet. Es dient der Vorhersage der Störfestigkeitspegel gegen leitungsgeführte HF-Störungen an IC-Anschlussstiften.

Zur Bewertung der Störfestigkeitsschwelle eines elektronischen Bauelements wird dieses Makromodell in ein Simulationswerkzeug für elektrische Schaltungen eingegeben.

Mit diesem Makromodell können sowohl analoge als auch digitale ICs (Eingang/Ausgang, digitaler Kern und Versorgung) modelliert werden. Die Nichtlinearitätseffekte der IC werden von diesem Makromodell nicht berücksichtigt.

Der zusätzliche Nutzen des ICIM-CI besteht darin, dass anhand von Simulationen auch die Störfestigkeit auf Leiterplatten- und Systemebene vorhergesagt werden kann.

Dieser Teil von IEC 62433 besteht aus zwei Hauptteilen:

- der elektrischen Beschreibung der Elemente des ICIM-CI-Makromodells;
- einem universellen Datenaustauschformat, welches als CIML bezeichnet wird und auf XML basiert. Mit diesem Format ist eine gebrauchsfähige und allgemeine Form der Codierung des ICIM-CI für die Simulation der Störfestigkeit möglich.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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 Begriffe, Abkürzungen und Vereinbarungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Abschnitt

(en: section)

XML-Element, das eine Ebene unter dem Wurzelement oder innerhalb eines anderen Abschnitts angeordnet ist und mindestens ein XML-Element enthält, aber keinen Wert

3.1.2

Eltern

(en: parent)

Schlüsselwort, das eine Ebene über einem anderen Schlüsselwort bezeichnet

3.1.3

Kind

(en: child)

Schlüsselwort, das eine Ebene unter einem anderen Schlüsselwort bezeichnet

3.1.4

externer Anschluss

(en: external terminal)

Anschluss des Makromodells einer integrierten Schaltung, der das Modell mit der Umgebung außerhalb der integrierten Schaltung verbindet

BEISPIEL Anschlussstifte für die Stromversorgung und Eingangs-/Ausgangsanschlussstifte.

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn es nicht anders angegeben ist, wird in diesem Teil von IEC 62433 ein Anschluss standardmäßig als externer Anschluss betrachtet.

[QUELLE: IEC 62433-2:2008, 3.1, modifiziert – Anmerkung 1 zum Begriff wurde geändert und das Beispiel wurde hinzugefügt.]

3.1.5

interner Anschluss

(en: internal terminal)

Anschluss einer Komponente des Makromodells einer integrierten Schaltung, der die Komponente mit anderen Komponenten des Makromodells der integrierten Schaltung verbindet

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

3.1.6

Parser

(en: parser)

Werkzeug für die syntaktische Analyse von Daten, die in einem speziellen Format codiert sind

3.1.7

CIML

Auszeichnungssprache zur Beschreibung leitungsgeführter Störungen

(en: Conducted Immunity Markup Language)

Datenaustauschformat für das ICIM-CI-Modell

3.1.8

CIMLBase

Basis der Auszeichnungssprache zur Beschreibung leitungsgeführter Störungen

(en: Conducted Immunity Markup Language Base)

abstrakter Typ, von dem alle CIML-Modellkomponenten in der Definition des ICIM-CI-Modells direkt oder indirekt abgeleitet werden

3.1.9

DI

Störungseingang

(en: Disturbance Input)

Eingangsanschluss für die Einspeisung von HF-Störungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Dabei kann es sich um jeden beliebigen Anschlussstift einer IC, einen Eingang, den Stromversorgungsanschluss oder einen Ausgang handeln.

3.1.10

DO

Störungsausgang

(en: Disturbance Output)

Anschluss, dessen Last die Impedanz des DI-Anschlusses und/oder die Übertragungskennlinie des PDN beeinflusst und der einen Teil der Störung ausgibt, die an den DI-Anschlüssen eingespeist wird

3.1.11

OO

zu untersuchender Ausgang

(en: Observable Output)

Ausgangsanschluss, an dem während der Prüfung die Störfestigkeitskriterien überwacht werden

3.1.12

GND

Masseanschluss

(en: Ground Terminal)

Anschluss, der als Referenz für die Rückleitung dient

3.1.13

PDN

passives Verteilernetz

(en: Passive Distribution Network)

Block, der das Impedanznetzwerk von mindestens einem Port der integrierten Schaltung beschreibt

3.1.14

IB

Störfestigkeitsverhalten

(en: Immunity Behaviour)

Block, der das Verhalten der internen Störfestigkeit der IC beschreibt

3.1.15

IBC

Kopplung zwischen Blöcken

(en: Inter Block Coupling)

Block, der das Kopplungsnetzwerk zwischen verschiedenen PDN-Blöcken innerhalb einer IC beschreibt

[QUELLE: IEC/TS 62433-1:2011, 3.3]

3.1.16

VNA

Vektor-Netzwerkanalysator

(en: Vector Network Analyzer)

Gerät zur Messung komplexer Netzwerkparameter wie die S -, Y - oder Z -Parameter im Frequenzbereich

3.1.17

RFIP

HF-Einspeise-Sonde

(en: Radio Frequency Injection Probe)

Sonde für die Einspeisung von HF-Störungen in einen Anschlussstift einer IC für die Messung von Spannung und Strom

3.2 Abkürzungen

CIM	Modell der Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störungen (en: Conducted Immunity Model)
XML	erweiterbare Auszeichnungssprache (en: eXtensible Markup Language)
SPICE	Simulationsprogramm mit Schwerpunkt für integrierte Schaltungen (en: Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)
ESD	Entladung statischer Elektrizität (en: ElectroStatic Discharge)

3.3 Vereinbarungen

Der Eindeutigkeit halber sind mit wenigen Ausnahmen im Text und in Tabellen die Schreibregeln von XML angewendet worden.

4 Grundprinzipien

Integrierte Schaltungen besitzen immer mehr Gates, die technische Integrationsdichte nimmt zu und die Versorgungsspannungen werden kleiner. Der Verringerung des Abstands zwischen Signalen auf dem Chip, die verkleinerte Chipgeometrie und die Zunahme unerwünschter Ströme in parasitären Strukturen wie Trennkapazitäten führen zu einem verstärkten internen Nebensprechen. Somit gewinnt die Störfestigkeit integrierter Schaltungen immer mehr an Bedeutung.

Infolge dieses erhöhten Risikos einer sinkenden IC-Störfestigkeit sind zur Optimierung des Störfestigkeitsverhaltens sowohl der IC als auch der Anwendung Modelle und Simulationswerkzeuge erforderlich.

Dieser Teil von IEC 62433 beschreibt ein solches Modell für die Simulation des Störfestigkeitsverhaltens auf der IC-Ebene. Mit diesem Modell, das als ICIM-CI bezeichnet wird, lässt sich die elektromagnetische Störfestigkeit auf der Anwendungsebene vorhersagen. Es beruht auf Dateien, die das PDN und das IB beschreiben und Daten über elektromagnetische Störungen enthalten, die zu einer Veränderung von einem oder mehreren zu untersuchenden Signalen führen. Das PDN wird als linear angesehen, während beim IB IC-eigene Nichtlinearitäten berücksichtigt werden. Diese Annahme wird in 8.2 (siehe Bild 25) erläutert. Anwender des Modells sollten auf das zu untersuchende Signal ein Fehlerkriterium in Abhängigkeit von ihren Anforderungen anwenden.

Die Daten des ICIM-CI-Modells werden mit dem XML-Format decodierbar und hierarchisch angeordnet. Der Zweck dieses Austauschformats, welches als Auszeichnungssprache zur Beschreibung leitungsgeführter Störungen (CIML) bezeichnet wird, ist die Schaffung eines einfachen und praktisch universellen Zugriffs auf das ICIM-CI. [Anhang A](#) enthält vorläufige Festlegungen für die XML-Darstellung.

5 Beschreibung des ICIM-CI-Modells

5.1 Allgemeines

Die interne Struktur einer IC kann in zwei Teile gegliedert werden:

- passive Teile (parasitäre Elemente von Anschlussstiften, Potentialausgleichsverbindungen und Leiterbahnen, ESD-Schutz), die die Störungen von der äußeren Umgebung zu den inneren IC-Blöcken leiten;
- aktive Teile (CPU-Kern, Taktsystem, Speicher, Analogbausteine). Diese aktiven internen Blöcke sind anfällig für die einfallenden Störungen.

Das ICIM-CI-Modell besteht aus einem Datensatz, der diese beiden Teile beschreibt:

- PDN: Das passive Verteilernetz ist eine Mehr-Port-Schaltung. Es setzt sich aus vier verschiedenen Anschlüssen zusammen:
 - DI: Anschlüsse, an die Störungen angelegt werden;
 - DO: Anschlüsse, die die Impedanz der DI-Anschlüsse beeinflussen und damit einen Teil der an die DI-Anschlüsse angelegten Störung empfangen;
 - GND: das PDN muss einen oder mehrere Masseanschlüsse besitzen (wie digitale Masse, analoge Masse);
 - interne Anschlüsse: Anschlüsse, die die Impedanz der DI-Anschlüsse beeinflussen können und sich im Inneren der IC befinden (auf der Chipebene).
- IB: Komponente, die beschreibt, wie die IC auf die angelegten Störungen (bezogen auf einen Masseanschluss des PDN) reagiert. Das Störfestigkeitskriterium wird auf Anschlüsse angewendet, die als zu untersuchende Ausgänge (OO) bezeichnet werden. Diese OO können abhängig von der Konfiguration der IC mit den verschiedenen DI verknüpft sein oder nicht.

ANMERKUNG 1 DI-, DO-, OO- und GND-Anschlüsse sind externe Anschlüsse, die auf der Ebene der Anschlussstifte verbunden werden. Diese Anschlussstifte verbinden die äußere Umgebung mit der IC.

ANMERKUNG 2 OO-Anschlüsse verbinden das PDN mit dem IB. Obwohl diese Anschlüsse außerhalb der IC liegen und durch Überwachung des Störfestigkeitskriteriums zur Ermittlung des IB genutzt werden, werden sie (intern) im PDN des ICIM-CI-Makromodells virtuell dargestellt.

Bild 1 zeigt ein Beispiel für die Modellstruktur des ICIM-CI.

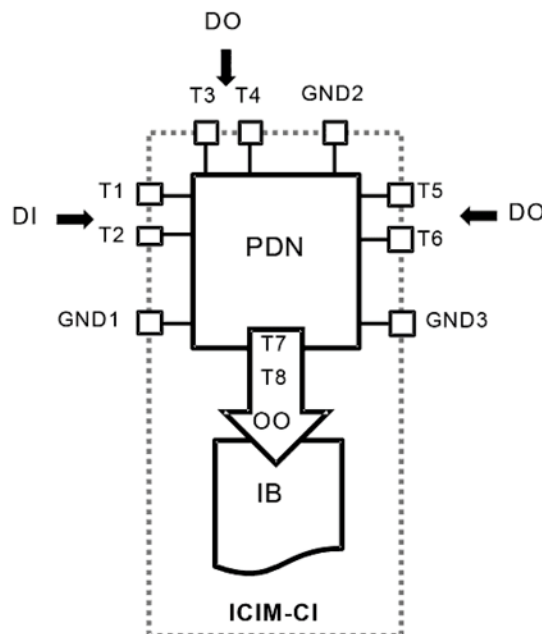


Bild 1 – Beispiel für die Modellstruktur des ICIM-CI

Es besteht keine direkte elektrische Verbindung zwischen dem PDN-Block und dem IB-Block. Das PDN stellt die Eingangsimpedanz des DI dar. Die in den DI eintretende Leistung wird durch Simulation auf der Basis des PDN und der äußeren Umgebung berechnet. Das IB verknüpft die in den DI eintretende Leistung mit einem am OO überwachten Störfestigkeitskriterium. Das IB wird durch eine Messung der Störfestigkeit der IC mittels Überwachung des OO-Anschlusses ermittelt.

In Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen und der Stabilität der IC können DO-Anschlüsse vorhanden sein. Im [Anhang B](#) ist ein solches Beispiel beschrieben.

Zur Modellierung und Beschreibung eines vollständigen elektronischen Systems wie eine elektronische Leiterplatte können verschiedene ICIM-CI miteinander verknüpft werden. Mit dieser vorgeschlagenen Struktur kann auch ein Element eines Betriebsmittels modelliert werden. Der DO-Anschluss eines ICIM-CI kann mit verschiedenen Anschlüssen angrenzender ICIM-CI-Blöcke verbunden werden.

Bild 2 gibt ein Beispiel für ein vollständiges ICIM-CI einer elektronischen Leiterplatte. Die Leiterplatte wird durch drei eigenständige ICIM-CI vollständig beschrieben. T12 und T21 sind miteinander verbunden und empfangen dieselbe Störung. ICIM-CI_1 leitet über seinen DO-Anschluss T14, der mit dem DI-Anschluss T31 von ICIM-CI_3 verbunden ist, einen Bruchteil seiner Störung an das Modell ICIM-CI_3 weiter.

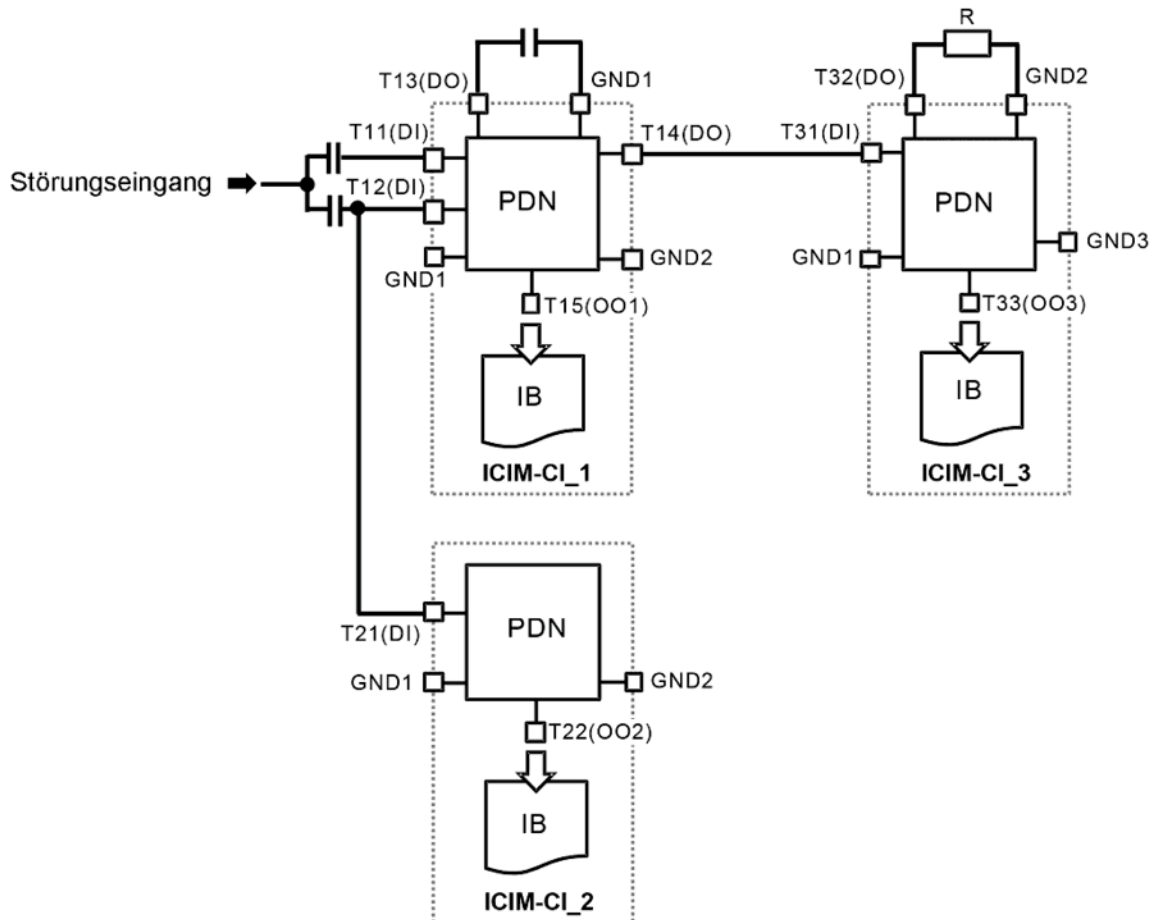


Bild 2 – Beispiel für ein ICIM-CI einer elektronischen Leiterplatte

Der gültige Frequenzbereich des ICIM-CI entspricht dem Frequenzbereich, mit dem die Daten (Simulation oder Messung) für den PDN- und den IB-Teil ermittelt worden sind.

5.2 Beschreibung des PDN

Das PDN besteht aus passiven Elementen für das Gehäuse, Masseverbindungen und Verbindungen auf dem Chip. Es stellt das Eingangsnetzwerk der Stromversorgungs- und Signalanschlusstifte des Chips dar. Das PDN ist ein vollständiges Impedanznetzwerk, zu welchem sowohl Eingangsanschlüsse für die Einspeisung (DI), Anschlüsse, die die Impedanz der gestörten Anschlüsse (DO) beeinflussen können, als auch interne Anschlüsse gehören. Das PDN kann lineare und nichtlineare Komponenten wie Widerstände, Kapazitäten und einen ESD-Diodenschutz enthalten. Die PDN-Daten werden jedoch für Bedingungen definiert, unter denen nichtlineare Komponenten nicht aktiviert sind.

Das PDN beschreibt den Kopplungspfad für die HF-Störungen, die einer Filterung und Verzerrung unterliegen können. Seine Impedanz kann sich frequenzabhängig erheblich verändern.

Das PDN ist im Frequenzbereich definiert und kann durch verschiedene Netzwerkparameter beschrieben werden wie:

- a) $Z(f)$: Impedanz, die das Verhältnis von Spannung und Strom am Störungseingang des PDN wiedergibt. Sie stellt den elektrischen Schaltplan der passiven Eingangsimpedanz dar, die häufig aus parasitären Elementen besteht und mit Widerstandselementen (R), Induktivitätselementen (L) und Kapazitätselementen (C) angegeben wird.
- b) $Y(f)$: Admittanz, die den Kehrwert von $Z(f)$ wiedergibt.
- c) $S(f)$: S-Parameter, der das Verhältnis der Rückwärtsspannungswelle zur Vorwärtsspannungswelle am Störungseingang des PDN wiedergibt. Mit diesem Parameter wird gewöhnlich die Kennlinie des HF-Signalports gemessen.

Die Umrechnung zwischen den drei Parameterarten ist im [Anhang C](#) beschrieben. Der gültige Frequenzbereich des PDN wird durch die Messbedingungen festgelegt.

Das PDN kann auch als Stromkreis mit einer SPICE-Netzliste beschrieben werden.

Eine IC kann viele identisch bemessene Anschlussstifte mit den gleichen (ähnlichen) Kennwerten besitzen. Zur Verringerung der Anzahl der zu modellierenden DI (zur Vereinfachung) können die Anschlussstifte der IC in Familien zusammengefasst werden, wie:

- a) Stromversorgungsanschlussstifte;
- b) digitale Eingangs-/Ausgangsanschlussstifte;
- c) analoge Eingangs-/Ausgangsanschlussstifte;
- d) Daten-/Adressbusse;
- e) Kommunikationsbusse.

Für eine bessere Darstellung und ein leichteres Verständnis kann es bei komplexen ICs unerlässlich sein, das PDN in verschiedenen Blöcken zu modellieren. Diese Blöcke dürfen innerhalb der IC miteinander gekoppelt werden. Eine IC kann außer Anschlüssen, die innerhalb der IC miteinander gekoppelt sind, z. B. einen digitalen und einen analogen Block mit verschiedenen Masseanschlüssen enthalten (die intern verbunden sein dürfen). Solche Kopplungserscheinungen können mit einem Kopplungsnetzwerk zwischen Blöcken (IBC-Netzwerk) modelliert werden. [5.3](#) enthält eine genaue Beschreibung eines IBC-Netzwerks.

Das PDN beschreibt das lineare Verhalten des Bauelements. Die Nichtlinearitätseffekte bleiben im PDN des ICIM-CI-Makromodells unberücksichtigt. Deshalb sollten unter typischen Betriebsbedingungen in einem stationären Zustand Impedanzmessungen durchgeführt werden. Das vorgeschlagene PDN des ICIM-CI ist auf eine Ebene beschränkt, auf der die Schutzeinrichtungen nicht ausgelöst werden. Die Aktivierung der internen Schutzeinrichtungen würde eine Nichtlinearität in die Definition des Modells einführen, die im PDN nicht berücksichtigt wird. Nichtlinearitätseffekte werden jedoch nach der Beschreibung in [5.4](#) beim IB betrachtet.

Das PDN kann als Filter für HF-Störungen wirken. Infolge von parasitären kapazitiven und induktiven Elementen können PDN-Resonanzen auftreten. Resonanzen können auch durch externe Komponenten entstehen, die für den IC-Betrieb an den DI- und DO-Anschlussstiften angebracht sind. Diese können sich erheblich auf die Störfestigkeit der Bauelemente auswirken. Das PDN kann die Störungen auslöschen, durchlassen oder verstärken und es kann die Störfestigkeit des Bauelements beeinflussen.

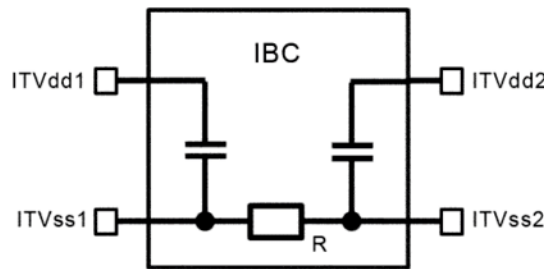
Das PDN ist für die Bedingungen zutreffend, für die es aufgestellt wurde. Solche Bedingungen sind folgende (jedoch nicht darauf beschränkt):

- a) Versorgungsspannungsbereich;
- b) angewendeter Frequenzbereich;
- c) Temperaturbereich;
- d) angewendete Lastbedingungen an den DI- und/oder DO-Anschlussstiften.

Das Impedanzverhalten des PDN erlaubt es, die Leistung zu bestimmen, die in den aktiven Teil des Bauelements übertragen wird, der durch das IB-Modell repräsentiert wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die an den Anschlussstiften übertragene Leistung mit dem Versagen innerhalb des Bauelements verknüpft ist.

5.3 Beschreibung der IBC

Die Kopplung zwischen Blöcken (IBC) ist ein Netzwerk passiver Elemente, das eine Kopplungswirkung zwischen verschiedenen PDN-Blöcken darstellt. Die IBC ist damit ein Teil des PDN-Teilmodells. Der IBC-Block ist mit zwei oder mehr internen Anschlüssen ausgerüstet und kann interne Anschlüsse von PDN-Blöcken verbinden. Mit solchen Blöcken können die Kopplungserscheinung zwischen verschiedenen IC-Masseanschlüssen, Substratverluste, Gegeninduktivitäten auf der Chipebene, die Trennung zwischen internen Masse- und Lastanschlüssen usw. modelliert werden. Bild 3 zeigt ein Beispiel für ein IBC-Netzwerk.



ANMERKUNG ITVdd1, ITVss1, ITVdd2 und ITVss2 sind interne Knoten.

Bild 3 – Beispiel für ein IBC-Netzwerk

In diesem Beispiel (siehe Bild 3) modellieren beide Kondensatoren die dielektrischen Eigenschaften und die Widerstände modellieren die ohmschen Eigenschaften des Substrats. Mit komplexeren IBC-Netzwerken können weitere Eigenschaften modelliert werden.

Für die IBC gelten sämtliche in 5.2 für das PDN beschriebene Spezifikationen und Bedingungen.

Bild 4 zeigt eine blockbasierte Struktur mit IBC-Komponenten. Das Modell besteht aus verschiedenen Komponenten des PDN-Blocks und IBC-Komponenten, die das PDN-Teilmodell bilden.

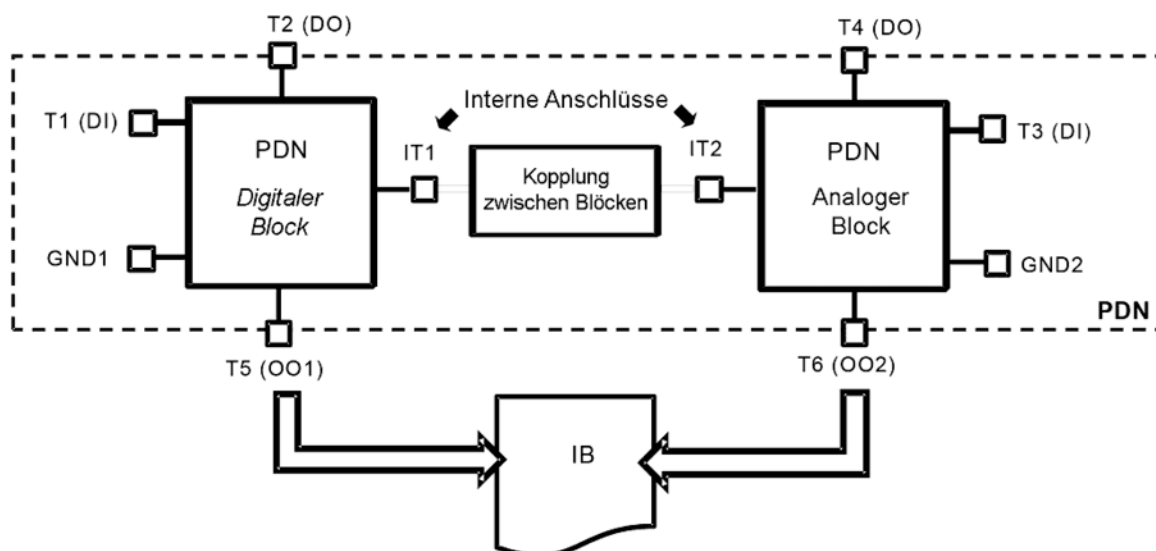


Bild 4 – Darstellung des ICIM-CI mit verschiedenen Blöcken

5.4 Beschreibung des IB

Das IB umfasst sowohl das In-Band- als auch das Außer-Band-Frequenzverhalten der IC und wird durch ein zweites Teilmodell dargestellt. Die Informationsausgabe aus dem IB-Block über einen oder mehrere zu

untersuchende Ausgänge (OO) beschreibt das Verhalten der IC bei einem an einen oder mehrere DI angelegten Störsignal. Das IB sollte Parameter wie die Frequenz, die übertragene Leistung sowie die Änderungen an einem oder mehreren OO umfassen. Beim IB wird die die Fehlfunktion verursachende Nichtlinearität berücksichtigt. In Abhängigkeit von der Art und Weise der Prüfung des OO können IB-Daten unter Anwendung von Bestanden/Nicht-Bestanden-Prüfkriterien oder von Prüfkriterien, die nicht auf dem Bestehen/Nicht-Bestehen beruhen, ermittelt werden.

Wie der Name vermuten lässt, wird bei Bestanden/Nicht-Bestanden-Prüfungen der Fehler am OO direkt anhand der vom Anwender festgelegten Grenzwerte geprüft. Das heißt, es gibt für jedes Störempfindlichkeitskriterium ein zweckbestimmtes IB-Teilmodell. Bei Prüfungen, die nicht auf dem Bestehen/Nicht-Bestehen beruhen, werden die untersuchten Fehler nicht quantitativ nach Bestanden/Nicht-Bestanden bestimmt (keine Prüfung anhand der vom Anwender festgesetzten Grenzwerte). Es wird der Verhaltensaspekt des OO als eine Funktion der übertragenen Leistung ohne festgelegte Grenzwerte dargestellt. Damit ist das betreffende IB-Teilmodell eher allgemeingültig und muss ausreichend viele Daten umfassen, damit der größte Teil der praktischen Anwendungsfälle einbezogen wird. Die Störfestigkeitskriterien dürfen dann in einer späteren Phase bei der Modellsimulation oder beim Einsatz vom Anwender des IC-Modells am OO angesetzt werden.

Wie in 5.2 angegeben, wird das IB-Teilmodell vom PDN und von der IBC beeinflusst. Damit ist das IB eines ICIM-CI unter den Bedingungen gültig, unter denen es aufgestellt worden ist. Typische Bedingungen sind folgende (jedoch nicht darauf beschränkt):

- a) Versorgungsspannungsbereich;
- b) angewendeter Frequenzbereich;
- c) Temperaturbereich;
- d) angewendete Lastbedingungen (infolgedessen die systematischen Fehlerbedingungen) am (an den) DI- und/oder DO-Anschlussstift(en);
- e) angewendete Prüfkriterien für die Störfestigkeit für den (die) OO-Anschlussstift(e).

Die Schrittweite und der Bereich der Frequenz, mit denen die IB-Daten festgelegt werden, müssen den Angaben in IEC 62132-1 entsprechen. Kritische Frequenzen wie Taktfrequenzen, Netzfrequenzen von HF-Bau-elementen müssen mit kleineren Frequenzschritten geprüft werden, die von den Anwendern dieses Verfahrens zu vereinbaren sind. Für das IB-Teilmodell gilt damit der gleiche Frequenzbereich wie für die Daten (Simulationsdaten oder Messwerte), mit denen das IB ermittelt wurde.

6 CIML-Format

6.1 Allgemeines

Die Daten des ICIM-CI werden im XML-Format zusammengefasst und als Auszeichnungssprache zur Beschreibung leitungsgeführter Störungen (CIML) bezeichnet. Die Daten des Modells werden in sieben Teile unterteilt:

- a) Header mit allgemeinen Informationen;
- b) Beschreibung der Anschlussleitungen der IC;
- c) Beschreibung der SPICE-Makromodelle, die mit den PDN-Daten angewendet werden;
- d) Beschreibung der Gültigkeitsbedingungen für das Modell;
- e) Beschreibung der PDN-Daten;
- f) Beschreibung der IBC-Daten;
- g) Beschreibung der IB-Daten.

In Bild 5 ist die Vererbungshierarchie abgebildet.

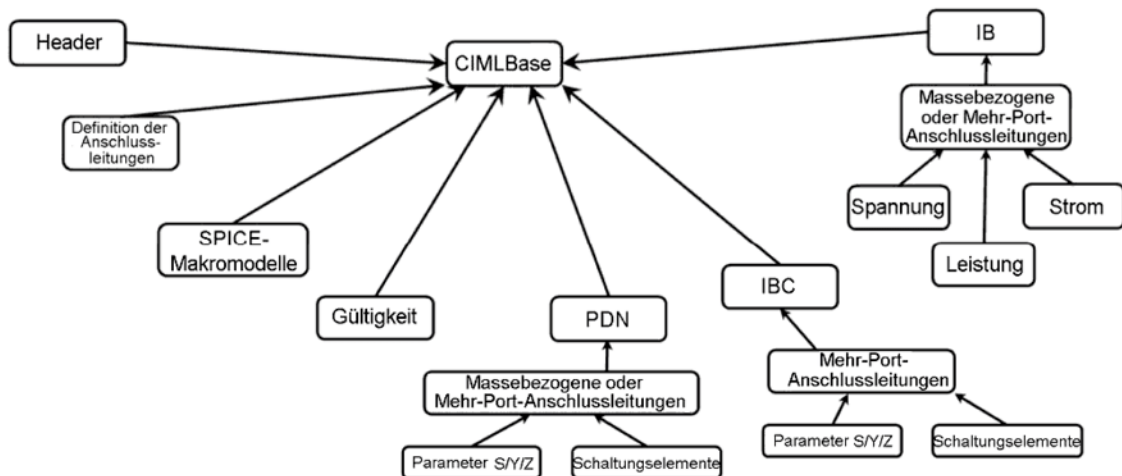


Bild 5 – CIML-Vererbungshierarchie

Die oberste Ebene der Definition eines CIML-Modells besteht einfach aus diesen Komponenten:

```

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
  
```

Dieses Austauschformat nutzt XML 1.0 (Fourth Edition) zur Strukturierung der Informationen [1]. XML wurde von SGML (ISO 8879:1986) abgeleitet.

Die im [Anhang A](#) erläuterten XML-Codierungsregeln stellen sicher, dass die XML-Datei (CIML-Datei) vom CIM-Parser richtig analysiert werden kann. [Anhang D](#) enthält ein Beispiel einer CIML-Datei, die mit dem Codierungsformat XML übereinstimmt.

6.2 CIML-Struktur

Das typische ICIM-CI muss im CIML-Format dargestellt werden, wie nachfolgend angegeben:

```

<?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>
</CIModel>
  
```

```

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

```

Das CIML-Format beruht auf einer XML-Darstellung. Für die CIML-Struktur gelten die grundlegenden XML-Codierungsregeln, die im [Anhang A](#) angegeben sind. Die CIML-Schlüsselwörter und deren Nutzungsvorschriften werden in [Anhang E](#) eingehend erläutert.

Die Abschnitte *Header*, *Lead_definitions*, *Validity*, *Pdn* und *Ib* sind die mindestens und zwingend erforderlichen Informationen für das ICIM-CI. Die Abschnitte *Macromodels* und *Ibc* sind wahlfrei.

6.3 Globale Schlüsselwörter

Die Abschnitte *Documentation*, *Notes* und *Unit* sind globale Schlüsselwörter, die an einer beliebigen Stelle in der Datei angeordnet werden können mit Ausnahme innerhalb eines Elements, das einen Wert enthält. Weitere Informationen zur Nutzung globaler Schlüsselwörter können [E.4](#) entnommen werden.

6.4 Header-Abschnitt

Die Leser fragen möglicherweise nach Beweggründen für einen unabhängigen Header-Abschnitt. Einfacher wäre es, die Header-Informationen direkt auf der obersten Ebene unter `</CImodel> ... </CImodel>` einzuordnen. Hier wurde stattdessen entschieden, sie innerhalb des XML-Elements `<Header>` zusammenzufassen, weil davon ausgegangen wurde, dass diese Anordnung die Strukturierung der Komponenten unterstützt und das Lesen der Modelldefinitionen erleichtert. Somit wird empfohlen, die Header-Informationen unter dem Tag *Header* zu definieren. Die mindestens erforderlichen Angaben sind die Versionsnummer des Modells, der Dateiname und die Versionsnummer der Datei. Weitere Inhalte des Headers sind frei wählbar und können folgende Informationen enthalten:

- Verweisung auf den Prüfling;
- Name des Verfassers;
- Datum;
- Messverfahren;
- Copyright;
- Haftungsausschluss;
- Dokumentation.

Nachfolgend wird ein Beispiel für den Abschnitt *Header* angegeben:

```
<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>
```

E.2 enthält eine ausführliche Liste der gültigen Schlüsselwörter im Abschnitt *Header*.

6.5 Definition der Anschlussleitungen

Dieser Abschnitt beschreibt die verschiedenen Anschlussleitungen (*Lead*) (oder Anschlussstifte) der zu prüfenden IC. Jede Anschlussleitung im Abschnitt *Lead_definitions* wird unter dem Tag *Lead* nach Tabelle 1 definiert. Zur Darstellung der Struktur der *Lead_definitions* werden nacheinander verschiedene *Lead*-Strukturen aufgeführt.

Tabelle 1 – Attribute des Schlüsselworts *Lead* im Abschnitt *Lead_definitions*

<i>Lead</i>	
Id:	Identität des Anschlussstifts mit einer gültigen Zeichenfolge (verbindlich)
Name:	Name des Anschlussstifts entsprechend der Bezeichnung im Datenblatt (wahlfrei), Standardwert = "None"
Mode:	Betriebsart, in der der Anschlussstift für das ICIM-CI benutzt wird ("DI", "DO", "OO", "GND"), siehe 5.1, Standardwert = "None"
Type:	Typ der Anschlussleitung ("internal" oder "external") (wahlfrei), Standardwert = "external"

In jeder *Lead*-Struktur im Abschnitt *Lead_definitions* gibt es ein verbindliches Feld *Id*, welches die Identität der Anschlussleitung angibt. Die Anschlussleitung darf zusätzlich mit *Name*, *Mode* und *Type* beschrieben werden. Ist das Feld *Name* nicht definiert oder nicht vorhanden, ist der Standardwert "None". Das Feld *Mode* wird unter den folgenden Bedingungen mit dem Wert "None" definiert:

- wenn es für einen bestimmten Anschlussstift keine Betriebsart (*Mode*) gibt;
- wenn es ausdrücklich auf "None" gesetzt ist, weil der entsprechende Anschlussstift kein DI, DO, OO oder GND ist.

Das Feld *Type* ist wahlfrei und wird für DI-, DO-, OO- und GND-Anschlussstifte immer als "external" angesehen. Der Typ der Anschlussleitung kann für die Verbindung verschiedener Blöcke des ICIM-CI-PDN auch "internal" sein (siehe Bild 4), und diese Anschlussstifte müssen dann mit *Mode*="None" definiert werden. Diese Anschlussleitungen sind ausschließlich für die Anbindung des IBC-Netzwerks vorgesehen (weitere Informationen zur Beschreibung der IBC siehe 5.3).

Wird ein Anschlussstift in mehr als einer Betriebsart benutzt, werden die verschiedenen Betriebsarten in einem einzigen Feld durch ein Komma getrennt (",") angegeben. Als Trennzeichen sind keine anderen Zeichen zulässig. Nachfolgend ist ein Beispiel angegeben:

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

Die angegebene Zeile teilt dem CIM-Parser mit, dass die Anschlussleitung *Lead* mit *Id*="1" und *Name*="T1" sowohl als DI als auch OO benutzt wird. Standardmäßig ist die Anschlussleitung ein externer Anschluss (*Type*="external").

Tabelle 2 gibt die Kompatibilität zwischen den Feldern *Mode* und *Type* der *Lead*-Struktur für eine korrekte CIML-Notation durch den CIM-Parser wieder.

Tabelle 2 – Kompatibilität zwischen den Feldern *Mode* und *Type* für eine korrekte CIML-Notation

<i>Mode</i>	<i>Type</i>	
	external	internal
DI	Ja	Nein
DO	Ja	Nein
OO	Ja	Nein
GND	Ja	Nein
None	Ja	Ja

Die verschiedenen in 5.1 beschriebenen Anschlüsse (siehe Bild 1) werden in einem verdichteten Format wie folgt angegeben:

```
<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>
```

Die angegebenen Programmzeilen geben die ICIM-CI-Struktur der Darstellung in Bild 1 wieder. Die Identitäten der Anschlussstifte ("Id") sind willkürlich gewählt. Es ist zu beachten, dass diese Anschlussstiftdefinitionen in diesem Teil von IEC 62433 als Beispiel benutzt werden, wenn es nicht anders angegeben ist.

6.6 SPICE-Makromodelle

In diesem Abschnitt sind verschiedene SPICE-Makromodelle im Netzlistenformat angegeben. Diese Teilstromkreise sind Verweisungen innerhalb des Tags *Pdn* unter dem Abschnitt *Netlist*, wie in 6.8.3.4 und 6.8.3.5 erläutert. Jedes SPICE-Makromodell im Abschnitt *Macromodels* wird unter Verwendung des Tags *Subckt* nach Tabelle 3 definiert. Die Aufnahme dieses Abschnitts in eine CIML-Datei ist wahlfrei.

Tabelle 3 – Definition von *Subckt*

<i>Subckt</i>	
Name:	Name des SPICE-Makromodells (verbindlich)
Nodes:	externe Knoten zur Verbindung mit dem Hauptstromkreis (verbindlich)
Kind:	SPICE-Netzlistenformat (wahlfrei), Standardwert: "SPICE3"
Data_files:	in einer externen Datei definiertes SPICE-Makromodell (wahlfrei)

Das Schlüsselwort *Subckt* hat zwei verbindliche Felder, das sind *Name* und *Nodes*. Das Feld *Name* besteht aus Buchstaben und Ziffern nach den Festlegungen in A.2.5.4. Das Feld *Nodes* definiert die externen Knoten, die den Teilstromkreis nach außen verbinden, d. h. die Knoten, über die das Teilstromkreiselement mit dem Hauptstromkreis verbunden wird. Die verschiedenen externen Knoten werden nacheinander und durch ein Komma getrennt (",") festgelegt und diese Knoten gelten ausschließlich lokal für die Definition des SPICE-Makromodells. Diese Knoten können wahlweise mit Ziffern oder Buchstaben bezeichnet werden.

Das wahlfreie Attribut *Kind* teilt dem CIM-Parser mit, dass der festgelegte Teilstromkreis (SPICE-Makromodell) mit einer bestimmten Syntax erstellt wurde. Die CIML Version 1 unterstützt eine Syntax mit Netzlisten nach der Industrienorm SPICE.

Fehlt das Feld *Kind*, wird es auf den Standardwert "SPICE3" gesetzt. Nachfolgend wird ein Beispiel für ein *Subckt*-Element angegeben:

```
<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>
```

Aus Gründen der Kompatibilität zwischen den verschiedenen Arten von SPICE ist "0" zur Bezeichnung eines externen Knotens nicht zulässig. Die verschiedenen Teilstromkreiselemente werden nacheinander aufgeführt und bilden den Abschnitt *Macromodels*. Das nachfolgende Beispiel gibt die typische Darstellung für den Abschnitt *Macromodels* wieder:

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

Einmal definiert sind die verschiedenen Teilstromkreise unter Anwendung eines Bezeichners, der mit dem Zeichen "X" beginnt, überall innerhalb von *Pdn*- und *Ibc*-Tags verwendbar. Der Aufruf muss unter dem Abschnitt *Netlist* erfolgen und wird mit dem Feld *Name* adressiert (siehe 6.8.3.4 und 6.8.3.5). Die Anzahl der Knoten in der Aufrufzeile muss mit der Anzahl übereinstimmen, die in der *Nodes*-Attributzeile des spezifischen Teilstromkreises aufgeführt ist. Beispielsweise kann der definierte "PDN_pin1" wie folgt aufgerufen werden:

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

Wenn in einer externen Bibliotheksdatei ein oder mehrere Teilstromkreismodelle definiert sind, wird (werden) die Datei(en) mit dem Tag *Data_files* adressiert. Zum Beispiel:

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

Bild 6 zeigt die Definition eines typischen Teilstromkreises.

```
*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
```

Bild 6 – Beispiel für eine Netzlistendatei zur Definition eines Teilstromkreises

Um Mehrdeutigkeiten zu vermeiden, analysiert das CIM nur die innerhalb der SPICE-Schlüsselwörter `.SUBCKT` und `.ENDS` definierten Anweisungen. Diese Schlüsselwörter sind nicht abhängig von Groß- und Kleinschreibung. Wenn mehrere `.SUBCKT`-Abschnitte ermittelt werden, werden diese als unabhängige Stromkreiselemente analysiert.

Da diese Definitionen innerhalb des CIML-Formats den gleichen Namensraum benutzen, muss jeder Teilstromkreis einen eindeutigen Namen tragen, der den in [A.2.5.4](#) erläuterten XML-Regeln entspricht.

6.7 Abschnitt mit den Gültigkeitsbedingungen

6.7.1 Allgemeines

Mit dem Abschnitt *Validity* werden die Bedingungen wiedergegeben, unter denen das ICIM-CI definiert wird. Dieser Abschnitt ist rein informativ für den Anwender und unabhängig von allen anderen Abschnitten in der CIML-Datei.

Tabelle 4 führt die verschiedenen anerkannten Schlüsselwörter im Abschnitt *Validity* auf.

Tabelle 4 – Definition des Abschnitts *Validity*

<i>Validity</i>	
Power_supply:	Stromversorgungsbereich als Zeichenfolge (verbindlich)
Frequency_range:	Frequenzbereich als Zeichenfolge mit Einheiten (verbindlich)
Temperature_range:	Temperaturbereich, in dem das Modell aufgestellt wird (verbindlich), mit Einheiten festzulegen

Diese Definition ist nicht vollständig und weiterentwicklungs- und verbesserungsfähig.

Die mit der IC gelieferte Dokumentation wie Datenblätter, Prüfberichte, ICIM-CI-Ableitungsberichte usw. kann unter dem globalen Schlüsselwort *Documentation* in Form einer gültigen Zeichenfolge angegeben werden, die den Pfad zu der entsprechenden Dokumentation festlegt. Mehrere Dateipfade können nacheinander aufgeführt werden. Wenn das Schlüsselwort nicht vorhanden ist, ist der Standardwert "None". Weitere Informationen zur Nutzung des Schlüsselworts *Documentation* können [E.4](#) entnommen werden.

Weitere spezifische Einzelheiten, die zur vollständigen Definition des ICIM-CI gehören, müssen mit einer gültigen Zeichenfolge im Abschnitt *Notes* definiert werden. Wenn der Abschnitt fehlt, ist der Standardwert "None". Weitere Informationen zur Nutzung des Schlüsselworts *Note* können [E.4](#) entnommen werden.

Dieser Abschnitt ist verbindlich und wird unmittelbar unter dem Wurzelement *CImodel* definiert. Zum Beispiel:

```
<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 Attributdefinitionen

6.7.2.1 *Power_supply*

Mit dem Attribut *Power_supply* werden die Versorgungsbedingungen definiert, unter denen das ICIM-CI gilt. Dieses Attribut teilt dem Anwender mit, dass das ICIM-CI im festgelegten Versorgungsbereich hergeleitet wurde.

Für die Definition des Werts für dieses Attribut gibt es kein bestimmtes Format; für eine einfache Nutzung des Modells muss es leicht verständlich sein. Der Wert dieses Attributs ist eine Datenkette mit einer gültigen Textfolge und/oder numerischen Werten mit Einheiten. Gültige Einheiten können [A.2.5.5](#) entnommen werden.

Es handelt sich um ein verbindliches Feld.

Die Beispiele 1 bis 3 beschreiben das Feld *Power_supply*.

BEISPIEL 1 Die folgende Syntax gibt an, dass das Modell für eine Versorgungsspannung von 5 V festgelegt ist:

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

BEISPIEL 2 Die folgende Syntax gibt an, dass die digitalen Blöcke der Modelldaten mit einer Versorgungsspannung von 5 V und die analogen Blöcke für eine Versorgungsspannung von 12 V festgelegt sind.

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

BEISPIEL 3 Die folgende Syntax gibt an, dass das Modell für Versorgungsspannungen zwischen 2,5 V und 18 V festgelegt ist:

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

oder

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

6.7.2.2 *Frequency_range*

Mit dem Attribut *Frequency_range* wird der Frequenzbereich definiert, in dem das ICIM-CI gilt. Dieses Attribut teilt dem Anwender mit, dass das ICIM-CI im festgelegten Frequenzbereich hergeleitet wurde und im selben Bereich anwendbar ist. Der gültige Frequenzbereich für das ICIM-CI muss der gemeinsame Frequenzbereich von PDN und IB sein.

Für die Definition des Werts für dieses Attribut gibt es kein bestimmtes Format; für eine korrekte Nutzung des Modells muss es leicht verständlich sein. Der Wert dieses Attributs ist eine Datenkette mit einer gültigen Textfolge und/oder numerischen Werten mit Einheiten (siehe Beispiel 1). Gültige Einheiten können [A.2.5.5](#) entnommen werden.

Es handelt sich um ein verbindliches Feld.

BEISPIEL 1 Die folgende Syntax gibt an, dass das Modell in einem Frequenzbereich von 1 MHz bis 1 GHz gültig ist:

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

oder

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

6.7.2.3 *Temperature_range*

Mit dem Attribut *Temperature_range* wird der Temperaturbereich definiert, in dem das ICIM-CI hergeleitet wurde. Der gültige Temperaturbereich für das ICIM-CI muss der gemeinsame Temperaturbereich von PDN und IB sein.

Für die Definition des Werts für dieses Attribut gibt es kein bestimmtes Format; für eine korrekte Nutzung des Modells muss es leicht verständlich sein. Der Wert dieses Attributs ist eine Datenkette mit einer gültigen Textfolge und/oder numerischen Werten mit Einheiten. Gültige Einheiten können [A.2.5.5](#) entnommen werden.

Es handelt sich um ein verbindliches Feld.

Nachfolgend sind zwei Beispiele angegeben.

BEISPIEL 1 Die folgende Syntax gibt an, dass das Modell in einem Temperaturbereich zwischen 20 °C und 40 °C gültig ist:

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

oder

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

BEISPIEL 2 Die folgende Syntax gibt an, dass das Modell nur für 298,15 K festgelegt ist:

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

6.8 PDN

6.8.1 Allgemeines

Der Abschnitt *Pdn* des ICIM-CI enthält die PDN-Daten zur Beschreibung des Modells. Die Daten müssen mit dem Schlüsselwort *Pdn* wie folgt definiert werden:

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

Das PDN kann verschiedene Ebenen der Komplexität aufweisen. Die einfachste Konfiguration ist der masse-bezogene Störungseingang. Auch ein Differenzstörungseingang ist vorstellbar.

Die größte Komplexität weist eine Mehr-Port-Konfiguration auf.

PDN-Daten werden für einen bestimmten IC-Anschlussstift definiert und die Definition muss unter einem Tag *Lead* erfolgen. [Bild 5](#) zeigt die Hierarchie der Struktur. Im Abschnitt *Pdn* können viele *Lead*-Elemente nacheinander aufgeführt werden. [Tabelle 5](#) enthält die verschiedenen bekannten Felder des Schlüsselworts *Lead*.

Tabelle 5 – Definition des Schlüsselworts *Lead* für den Abschnitt *Pdn*

<i>Lead</i>	
Id:	Identität des Anschlussstifts mit einer gültigen Zeichenfolge (verbindlich)
Ground_id:	Identität des Anschlussstifts für die Rückleitung mit einer gültigen Zeichenfolge (verbindlich, wenn <i>Type</i> ="S", "Z", "Y"), sonst wahlfrei)
Blockname:	Name des PDN-Blocks mit einer gültigen Zeichenfolge
Type:	PDN-Quellparameter ("S", "Z", "Y", "Ckt")
Param_order:	Reihenfolge, in der die PDN-Parameter definiert sind
Format:	Datenformat ("RI", "MA", "DB")
Meas_type:	implementiertes Verfahren für die Durchführung der PDN-Messungen
Reference_impedance:	Referenzimpedanz zur Ausführung der PDN-Messungen
Use:	speziell anzuwendender Parameter
Netlist:	PDN-Definition unter Anwendung eines Netzlisten-Standardformats
Unit_freq:	Definition der Einheit der Frequenzglieder
Unit_param:	Einheit der PDN-Parameter
Power_level:	Messleistungspegel bei der Herleitung des PDN
Data_files:	in einer externen Datei definierte PDN-Quellparameter (verbindlich, wenn nicht <i>List</i>)
List:	Liste der PDN-Parameter (verbindlich, wenn nicht <i>Data_files</i>)

Der Frequenzbereich der PDN-Information muss im Abschnitt *Validity* unter dem Tag *Frequency_range* angegeben werden.

ANMERKUNG Der für das ICIM-CI gültige Frequenzbereich ist der gemeinsame Frequenzbereich von PDN und IB.

Alle anderen sachdienlichen Informationen, die für das richtige Verständnis (und die richtige Nutzung) des PDN erforderlich sind, müssen wahlfrei unter den Tags *Notes* und *Documentation* festgelegt werden. Es können beispielsweise Einzelheiten wie die Betriebsart der IC, Entkopplungskondensatoren an Stromversorgungsleitungen, aktivierte Funktionen, Hinweise bezüglich der Masse, Datenblätter, Prüfberichte definiert werden.

6.8.2 Attributdefinitionen

6.8.2.1 *Id*

Die in dieser PDN-Definition verwendeten *Lead-Ids* sollten vorher unter dem Tag *Lead_definitions* nach der Beschreibung in 6.5 definiert worden sein. In Abhängigkeit vom Typ des PDN (massebezogen, Differenz- oder Mehr-Port-) können ein oder mehrere *Ids* gemeinsam festgelegt werden. Es können sowohl externe als auch interne Anschlüsse festgelegt werden. Weitere Informationen können 6.8.4 und 6.8.5 entnommen werden.

Das *Id*-Feld ist ein verbindliches Feld.

6.8.2.2 *Ground_id*

Die in dieser PDN-Definition verwendeten *Ground_ids* der Anschlussleitungen sollten vorher unter dem Tag *Lead_definitions* in der Betriebsart GND (siehe 6.5) definiert worden sein. Diese Anschlussleitung bildet den Rückleitungspfad für die Definition des PDN.

Dieses Attribut wird nur dann definiert, wenn das PDN mit Netzwerkparametern definiert wird (*Type*="S" oder "Z" oder "Y"). Wenn *Type*="Ckt" ist, d. h., wenn für die Darstellung des PDN eine Netzliste verwendet wird, wird das Attribut *Ground_id* vom CIM-Parser vernachlässigt. Weitere Informationen über das Attribut *Type* können 6.8.2.4 entnommen werden.

Wenn das Attribut verwendet wird, ist je *Lead*-Definition nur ein eindeutiger *Ground_id* zulässig. Das Feld *Ground_id* ist ein wahlfreies Feld und verbindlich, wenn das PDN mit Netzwerkparametern dargestellt wird.

6.8.2.3 *Blockname*

Mit dem Feld *Blockname* wird der Name des PDN-Blocks festgelegt. Dieses Feld ist wahlfrei und dient der Darstellung des PDN als Teilblock. Bild 4 zeigt eine auf Blöcken basierte Darstellung des ICIM-CI-Makro-modells. Dieses Feld dient nur der Information. Der CIM-Parser analysiert dieses Feld nicht.

6.8.2.4 *Type*

Mit dem Attribut *Type* wird der Typ der PDN-Daten dargestellt. Gültige Typen sind:

- "S": S-Parameterdaten;
- "Z": Z-Parameterdaten; diese Parameter werden nicht auf die Referenzimpedanz normiert;
- "Y": Y-Parameterdaten; diese Parameter werden nicht auf die Referenzimpedanz normiert;
- "Ckt": Beschreibung des Stromkreises anhand von Netzlisten.

Dieses Feld ist wahlfrei. Wenn es fehlt, ist der Standardwert "S".

6.8.2.5 *Param_order*

Das Attribut *Param_order* teilt dem CIM-Parser mit, wie die Daten dargestellt sind. Es ist nicht angegeben, wenn das PDN als Stromkreismodell nach den Erläuterungen in 6.8.3.4 und 6.8.3.5 wiedergegeben wird. Zur Angabe der Reihenfolge der Parameter sind die folgenden Zeichenfolgen reserviert:

- "Freq" und "Frequency": für die Definition des Parameters benutzte Frequenz;
- "Sij": S-Parameter, *i* und *j* sind ganze Zahlen, die die Mess-Ports/Messanschlussstifte bezeichnen (Beispiel "S11", "S21", "S31" usw.);
- "Zij": Z-Parameter, *i* und *j* sind ganze Zahlen, die die Mess-Ports/Messanschlussstifte bezeichnen (Beispiel "Z11", "Z21", "Z31" usw.);
- "Yij": Y-Parameter, *i* und *j* sind ganze Zahlen, die die Mess-Ports/Messanschlussstifte bezeichnen (Beispiel "Y11", "Y21", "Y31" usw.).

Die verschiedenen Glieder von *Param_order* müssen durch ein Komma (",") getrennt werden.

Dieses Feld ist wahlfrei. Wenn es fehlt, ist der Standardwert "Freq,S11".

6.8.2.6 *Format*

Das Attribut *Format* entscheidet über das Datenformat. Es ist nicht definiert, wenn das PDN als Stromkreismodell nach den Erläuterungen in 6.8.3.4 und 6.8.3.5 dargestellt ist. Gültige Datenformate sind:

- "RI": reale/imaginäre Zahl;
- "DB": Betrag auf der Dezibelskala mit dem Phasenwinkel in Grad;
- "MA": Betrag auf der linearen Skale mit dem Phasenwinkel in Grad.

Dieses Feld ist wahlfrei. Wenn es fehlt, ist der Standardwert "RI".

6.8.2.7 *Meas_Type*

Das Attribut *Meas_type* wird vom CIM-Parser zur Berechnung der Impedanz der spezifischen Anschlussleitung ("Id") mit *S*-Parametern benutzt. In Abhängigkeit vom Typ des PDN (massebezogen, Differenz- oder Mehr-Port-) kann das Attribut *Meas_type* mehrere Definitionen haben. Siehe 6.8.4 und 6.8.5.

Dieses Feld wird nur festgelegt, wenn *Type*="S", und es ist wahlfrei. Wenn es fehlt, ist der Standardwert "0".

6.8.2.8 *Reference_impedance*

Das Attribut *Reference_impedance* wird vom CIM-Parser zur Berechnung der Impedanz der spezifischen Anschlussleitung ("Id") benutzt, wenn für die PDN-Definition Netzwerkparameter benutzt werden.

Dieses Feld wird nur festgelegt, wenn *Type*="S", und es ist wahlfrei. Wenn es definiert wird, muss es immer mit einem numerischen Wert zusammen mit Einheiten festgelegt werden, wie in A.2.5.3 beschrieben (Beispiel: "50ohm"). Wenn es fehlt, ist der Standardwert "50ohm".

6.8.2.9 *Use*

Das Attribut *Use* teilt dem CIM-Parser mit, einen der Werte im Attribut *Param_order* zu benutzen. Wenn er ausdrücklich festgelegt ist, wird der entsprechende Parameter als PDN benutzt. Ist kein Parameter festgelegt, wird als Standardwert das erste *Sij*- oder *Zij*- oder *Yij*-Glieder benutzt.

6.8.2.10 *Netlist*

Mit dem Schlüsselwort *Netlist* wird das PDN als eine SPICE-Netzliste definiert, die die elektrische Verbindungsfähigkeit der PDN-Elemente angibt. Die elektrische Verbindungsfähigkeit muss nach der SPICE-Spezifikation festgelegt werden [2]. 6.8.3.4 und 6.8.3.5 enthalten eine ausführliche Beschreibung des Stromkreismodells.

Dieses Feld ist verbindlich, wenn *Type*="Ckt" ist.

6.8.2.11 *Unit_freq* und *Unit_param*

Die Einheiten der Parameter werden unter den Tags *Unit_freq* und *Unit_param* für die Frequenz bzw. die Daten festgelegt. Wenn sie fehlen, ist der Standardwert für *Unit_freq* die Grundeinheiten "Hz". Tabelle 6 gibt den Standardwert für das Attribut *Unit_param* als Funktion des Datentyps und des Formats an, wenn keine Werte definiert sind.

Tabelle 6 – Gültige Datenformate und ihre Standardeinheiten im Abschnitt *Pdn*

Datentyp	Datenformat	Standardwerte für <i>Unit_param</i>
S	RI	1
	MA	1
	DB	dB
Z	RI	ohm
	MA	ohm
	DB	dBohm
Y	RI	S
	MA	S
	DB	dBS

Gültige Einheiten können A.2.5.5 entnommen werden.

Diese Felder sind wahlfrei.

6.8.2.12 *Power_level*

Im Feld *Power_level* wird der Messleistungspegel für die Herleitung des PDN (siehe 7.3.2) festgelegt. Zur Vereinfachung sollte der Leistungspegel zusammen mit Einheiten festgelegt werden, wie in A.2.5.3 erläutert.

Dieses Feld ist wahlfrei. Wenn es fehlt, ist der Standardwert "0dBm".

6.8.2.13 *Data_files* und *List*

Mit dem Tag *Data_files* wird zwischen internen und externen Daten unterschieden. Werden die PDN-Daten in einer externen Datei festgelegt, muss unter dem Tag *Data_files* der Link zu der Datei angegeben werden. Gegebenenfalls werden interne Daten unter dem Tag *Lead* unmittelbar in der obersten Ebene in einem Tag *List* festgelegt. Es sind Dateien mit den in Tabelle 7 angegebenen Erweiterungen zulässig.

Tabelle 7 – Gültige Dateierweiterung im Abschnitt *Pdn*

Dateierweiterung	Allgemeine Bezeichnung
dat oder DAT	Datendatei
csv oder CSV	mit Kommas getrennte Werte
txt oder TXT	Textdatei
snp oder SnP	Touchstone, n ist eine ganze Zahl (1, 2 ...)
cir oder CIR	Stromkreisdatei (Netzliste)
lib oder LIB	Bibliotheksddatei (Netzliste)
net oder NET	Netzlistendatei

Der Tag *List* ist nicht definiert, wenn das Stromkreismodell zur Beschreibung des PDN verwendet wird. Der Tag *Data_files* wird nur für Netzwerkparameter (*S* oder *Z* oder *Y*) und die Beschreibung der *Netlist* definiert.

Dieses Feld ist verbindlich; zur Definition der PDN-Daten der spezifischen Anschlussleitung muss ein eindeutiges *List*- oder *Data_files*-Element benutzt werden.

6.8.3 PDN für einen massebezogenen Eingang oder Ausgang

6.8.3.1 Allgemeines

Ein massebezogener Eingang oder Ausgang entspricht einem einzelnen Anschlussstift an der IC. In diesem Fall wird das Signal von einer Leiterbahn auf der Leiterplatte (en: printed circuit board, PCB) geführt. Die Leiterbahn für die Signallrückleitung ist die elektrische Masse der IC. Die Massen werden entweder innerhalb des Geräts miteinander verbunden oder über äußere Verbindungen, was nicht unbedingt günstig ist. Bei der Herleitung des PDN sollte darauf geachtet werden, dass diese Verbindungen einbezogen werden.

Bild 7 zeigt typische elektrische Schaltpläne von massebezogenen Eingangs-/Ausgangsanschlussstiften.