

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|  | <b>DIN EN 62433-6<br/>(VDE 0847-33-6)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>DIN</b> |
|  | Diese Norm ist zugleich eine <b>VDE-Bestimmung</b> 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. | <b>VDE</b> |

ICS 31.200; 33.100.20

Einsprüche bis 2017-12-27

**Entwurf**

**EMV-IC-Modellierung –  
Teil 6: Modelle integrierter Schaltungen für die Simulation des Verhaltens  
bei Störfestigkeit gegen Impulse –  
Modellierung der Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Impulse (ICIM-CPI)  
(IEC 47A/1019/CD:2017)**

EMC IC modelling –  
Part 6: Models of integrated circuits for Pulse immunity behavioural simulation –  
Conducted Pulse Immunity (ICIM-CPI)  
(IEC 47A/1019/CD:2017)

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-10-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter [www.entwuerfe.din.de](http://www.entwuerfe.din.de) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [dke@vde.com](mailto:dke@vde.com) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/stellungnahme](http://www.din.de/stellungnahme) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 103 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

## Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ... .

| Inhalt                                             | Seite |
|----------------------------------------------------|-------|
| Nationales Vorwort.....                            | 5     |
| 1 Anwendungsbereich .....                          | 6     |
| 2 Normative Verweisungen .....                     | 6     |
| 3 Begriffe, Abkürzungen und Vereinbarungen .....   | 7     |
| 3.1 Begriffe .....                                 | 7     |
| 3.2 Abkürzungen .....                              | 10    |
| 3.3 Vereinbarungen .....                           | 10    |
| 4 Grundprinzipien .....                            | 10    |
| 5 Modellstruktur des ICIM-CPI .....                | 11    |
| 5.1 Allgemeines .....                              | 11    |
| 5.2 PPN .....                                      | 12    |
| 5.2.1 Beschreibung des PDN .....                   | 13    |
| 5.2.2 Beschreibung des NLB.....                    | 13    |
| 5.3 Beschreibung des FB .....                      | 15    |
| 6 PIML-Format.....                                 | 17    |
| 6.1 Allgemeines .....                              | 17    |
| 6.2 PIML-Struktur .....                            | 18    |
| 6.3 Globale Schlüsselwörter.....                   | 18    |
| 6.4 Header-Abschnitt.....                          | 18    |
| 6.5 Abschnitt Lead_definitions .....               | 19    |
| 6.6 Abschnitt Macromodels .....                    | 20    |
| 6.7 Abschnitt mit den Gültigkeitsbedingungen ..... | 22    |
| 6.7.1 Allgemeines .....                            | 22    |
| 6.7.2 Attributdefinitionen.....                    | 23    |
| 6.8 Abschnitt PDN .....                            | 24    |
| 6.8.1 Allgemeines .....                            | 24    |
| 6.8.2 Attributdefinitionen.....                    | 25    |
| 6.8.3 PDN-Datendarstellung .....                   | 28    |
| 6.9 Abschnitt Nlb .....                            | 34    |
| 6.9.1 Allgemeines .....                            | 34    |
| 6.9.2 Attributdefinitionen.....                    | 34    |
| 6.9.3 Beschreibung der Daten.....                  | 36    |
| 6.10 Abschnitt Fb.....                             | 37    |
| 6.10.1 Allgemeines .....                           | 37    |
| 6.10.2 Attributdefinitionen.....                   | 38    |

|                   |                                                                                                                       |    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.10.3            | Beschreibung .....                                                                                                    | 41 |
| Anhang A          | (informativ) Herleitung von Modellkomponenten .....                                                                   | 43 |
| A.1               | Allgemeines .....                                                                                                     | 43 |
| A.2               | Herleitung des PDN .....                                                                                              | 43 |
| A.2.1             | Allgemeines .....                                                                                                     | 43 |
| A.2.2             | Messung der S/Z/Y-Parameter .....                                                                                     | 43 |
| A.2.3             | Übliches Ein-Port-Verfahren .....                                                                                     | 43 |
| A.2.4             | Zwei-Port-Verfahren für die niederohmige Messung .....                                                                | 44 |
| A.2.5             | Zwei-Port-Verfahren für die hochohmige Messung .....                                                                  | 44 |
| A.3               | Herleitung von NLB .....                                                                                              | 45 |
| A.3.1             | Allgemeines .....                                                                                                     | 45 |
| A.3.2             | TLP- Prüfverfahren .....                                                                                              | 45 |
| A.4               | Herleitung des FB .....                                                                                               | 46 |
| Anhang B          | (informativ) NLB-Implementierungstechniken in PSpice .....                                                            | 48 |
| B.1               | Allgemeines .....                                                                                                     | 48 |
| B.2               | NLB-Modellierung .....                                                                                                | 48 |
| B.2.1             | Struktur des Diodenmodells .....                                                                                      | 48 |
| B.2.2             | Struktur des Schalter-Modells .....                                                                                   | 49 |
| B.2.3             | Struktur der R(l)-Tabelle .....                                                                                       | 50 |
| B.3               | Zusammenstellung der NLB-Implementierungen .....                                                                      | 50 |
| Anhang C          | (informativ) Modellnutzung .....                                                                                      | 51 |
| C.1               | Allgemeines .....                                                                                                     | 51 |
| C.2               | ICIM-CPI-Modell vom Typ SmartMOS .....                                                                                | 51 |
| C.3               | Anwendung .....                                                                                                       | 52 |
| Literaturhinweise | .....                                                                                                                 | 55 |
| <b>Bilder</b>     |                                                                                                                       |    |
| Bild 1            | – Modellstruktur des ICIM-CPI .....                                                                                   | 11 |
| Bild 2            | –Struktur eines typischen PPN .....                                                                                   | 13 |
| Bild 3            | – Beispiel für eine $I/U$ -Messung zur Extraktion des NLB .....                                                       | 14 |
| Bild 4            | – Kennwerte eines Spannungsimpulses, der in den DI eintritt .....                                                     | 15 |
| Bild 5            | – Kennwerte des OO-Impulses, der in den DI eintritt, und der entsprechende Fehler, der am<br>OO beobachtet wird ..... | 16 |
| Bild 6            | – PIML-Vererbungshierarchie .....                                                                                     | 17 |
| Bild 7            | – Beispiel für eine Netzlistendatei zur Definition eines Teilstromkreises .....                                       | 22 |
| Bild 8            | – PDN-Darstellung als S-Parameter im Touchstone-Format .....                                                          | 31 |
| Bild 9            | – PDN-Darstellung als Zwei-Port-S-Parameter im Touchstone-Format .....                                                | 31 |
| Bild 10           | – Beispiel für die Definition einer Netzliste des Hauptstromkreises eines massebezogenen<br>PDN .....                 | 33 |
| Bild 11           | – Beispiel für eine PDN-Netzliste mit den Definitionen von Teilstromkreis und<br>Hauptstromkreis .....                | 33 |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 12 – Beispiel für eine NLB-Datei.....                                                                         | 37 |
| Bild A.1 – Übliche Ein-Port-Messung der S-Parameter.....                                                           | 44 |
| Bild A.2 – Zwei-Port-Verfahren für die niederohmige Messung .....                                                  | 44 |
| Bild A.3 – Zwei-Port-Verfahren für die hochohmige Messung .....                                                    | 45 |
| Bild A.4 – Aufbau des TLP-Verfahrens.....                                                                          | 45 |
| Bild A.5 – Verfahren zur Herleitung von NLB .....                                                                  | 46 |
| Bild A.6 – Tabellen zur Identifizierung von IC-Ausfallmechanismen zur Vorhersage von<br>Zerstörungen .....         | 47 |
| Bild B.1 – Auf Dioden basierendes NLB-Modell .....                                                                 | 48 |
| Bild B.2 – Auf Dioden basierendes $I/V$ -Kurvenmodell .....                                                        | 49 |
| Bild B.3 – NLB Modell basiert auf parallelen Schaltern .....                                                       | 49 |
| Bild B.4 – Auf Schaltern basierendes $V/I$ -Kurvenmodell .....                                                     | 50 |
| Bild B.5 – NLB-Modell basierend auf einer $R(I)$ -Tabelle.....                                                     | 50 |
| Bild C.1 – Nutzung des ICIM-CPI-Makromodells für die Simulation .....                                              | 51 |
| Bild C.2 – SmartMOS $V(I)$ Kurve für Impulsbreite von 50 ns.....                                                   | 51 |
| Bild C.3 – ICIM-CPI-Modell vom Typ SmartMOS.....                                                                   | 52 |
| Bild C.4 – Einsatz des ICIM-CPI vom Typ SmartMOS zum Gestalten des ESD-Schutzes .....                              | 52 |
| Bild C.5 – Spannung am SmartMOS-Anschlussstift bei unterschiedlichen Kondensatorwerten für<br>den ESD-Schutz ..... | 53 |
| Bild C.6 – Spannung am SmartMOS-Anschlussstift für den linken und rechten Nebelscheinwerfer.....                   | 54 |
| <b>Tabellen</b>                                                                                                    |    |
| Tabelle 1 – Beispiel des FB .....                                                                                  | 16 |
| Tabelle 2 – Attribute des <i>Lead</i> -Tags im Abschnitt <i>Lead_definitions</i> .....                             | 19 |
| Tabelle 3 – Kompatibilität zwischen den Feldern <i>Mode</i> und <i>Type</i> für eine korrekte PIML-Notation.....   | 20 |
| Tabelle 4 – Definition und Attribute von <i>Subckt</i> .....                                                       | 20 |
| Tabelle 5 – Definition der Attribute im Abschnitt <i>Validity</i> .....                                            | 22 |
| Tabelle 6 – Definition des <i>Lead</i> -Tags und dessen Attributen für den Abschnitt <i>PDN</i> .....              | 25 |
| Tabelle 7 – Standardwert für das Attribut <i>Unit_param</i> .....                                                  | 27 |
| Tabelle 8 – Zulässige externe Dateien für das Attribut <i>Data File</i> .....                                      | 28 |
| Tabelle 9 – Gültige Attribute des <i>Lead</i> -Tags für ein massebezogenes PDN .....                               | 29 |
| Tabelle 10 – Definition des Attributs <i>Netlist</i> .....                                                         | 32 |
| Tabelle 11 – Definition des <i>Lead</i> -Tags für den Abschnitt <i>Nlb</i> .....                                   | 34 |
| Tabelle 12 – Definition des <i>Lead</i> -Tags im Abschnitt <i>Fb</i> .....                                         | 38 |
| Tabelle 13 – Definition der <i>Table</i> -Unterattribute.....                                                      | 39 |
| Tabelle 14 – Definition der Parameter <i>Operating_conditions</i> .....                                            | 39 |
| Tabelle 15 – Definition der <i>Test_criteria</i> -Parameter.....                                                   | 40 |
| Tabelle B.1 – Zusammenstellung der NLB-Implementierungen.....                                                      | 50 |
| Tabelle C. 1 – Zusammenstellung von Spitzenspannung und Energie bei unterschiedlichen<br>Impulsbreiten .....       | 52 |

## Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47A/1019/CD:2017 „EMC IC modelling – Part 6: Models of integrated circuits for Pulse immunity behavioural simulation – Conducted Pulse Immunity (ICIM-CPI)“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 47A „Integrated circuits“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

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

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.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

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

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.

**EMV-IC-Modellierung –  
Teil 6: Modelle integrierter Schaltungen für die Simulation des Verhaltens bei  
Störfestigkeit gegen Impulse –  
Modellierung der Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Impulse (ICIM-CPI)**

## 1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Normenreihe IEC 62433 legt einen Ablauf für die Ableitung eines Makromodells fest, mit dem die Simulation der Störfestigkeit gegen vorübergehende leitungsgeführte Störungen einer integrierten Schaltung (en: integrated circuit (IC)) gegenüber Impulsen, wie etwa die Entladung statischer Elektrizität (en: Electrostatic Discharge (ESD)) und schnelle transiente elektrische Störgröße (en: Electric Fast Transient (EFT)), möglich ist. Dies dient der Vorhersage der Störfestigkeitspegel gegen leitungsgeführte Impulsstörungen an IC-Anschlussstiften. Dieses Modell wird allgemein als Modell der Störfestigkeit integrierter Schaltungen gegen leitungsgeführte Impulse (en: Integrated Circuit Immunity Model – Conducted Pulse Immunity, ICIM-CPI) bezeichnet. Es dient der Vorhersage der Störfestigkeitspegel bei leitungsgeführten Impulsstörungen an IC-Anschlussstiften, sowohl bei Beschädigung als auch bei Funktionsausfall.

ICIM-CPI kann für analoge, digitale und Analog-/Digitalschaltkreise aufgestellt werden. Ein ICIM-CPI bildet eine IC mit ihren verschiedenen Anschlüssen ab (z.B. Eingang, Ausgang und Versorgungsanschlüsse). Um die Störfestigkeit gegen Impulse korrekt zu beschreiben, stellt ein ICIM-CPI das nicht lineare Verhalten der IC-Anschlüsse dar.

Ein ICIM-CPI kann in das Zeitsignal eines Simulationswerkzeugs für elektrische Schaltungen eingefügt werden. Auf diese Weise lässt sich ein Ausfall auf IC-, Baugruppen- und Geräteebeine vorhersagen, wenn dieser durch leitungsgeführte Impulse übertragen wird.

Das vorliegende Dokument besteht aus zwei Hauptteilen:

- der erste Teil ist die elektrische Beschreibung der Elemente des ICIM-CPI-Makromodells;
- im zweiten Teil wird ein universelles Datenaustauschformat vorgeschlagen, welches als PIML bezeichnet wird und auf XML basiert. Mit diesem Format ist eine gebrauchsfähige und allgemeine Form der Codierung des ICIM-CPI 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).

ANSI INCITS 4:1986, *Information systems – Coded character sets – 7-Bit American national standard code for information interchange (7-Bit ASCII)*

**IEC 61000-4-2:2008**, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*

**IEC 61000-4-4:2012**, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*

**IEC 62215-3:2013**, *Integrated circuits – Measurement of impulse immunity – Part 3: Non synchronous transient injection method*

IEC/TS 62433-1:2011, *EMC IC modelling – Part 1: General modelling framework*

IEC 62615:2010, *Electrostatic discharge sensitivity testing – Transmission line pulse (TLP) – Component level*

## 3 Begriffe, Abkürzungen und Vereinbarungen

### 3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

#### 3.1.1

##### **Impuls**

sprunghafte, kurzzeitige Änderung einer physikalischen Größe, der eine schnelle Rückkehr zum Ausgangswert folgt

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Dokument kann ein Impuls von einer Spannungs- oder Stromgröße angegeben werden.

[QUELLE: IEC 60050 161-02-02, modifiziert – Anmerkung 1 wurde hinzugefügt]

#### 3.1.2

##### **nichtlinear**

bezeichnet ein Netzwerk(element), für das nicht alle Beziehungen zwischen den Integralgrößen linear sind

[QUELLE: IEC 60050:2011, Definition 131-11-19]

#### 3.1.3

##### **Netzwerk**

Menge von idealen Netzwerkelementen und ihren Verbindungen untereinander, die als ein Ganzes betrachtet werden

[QUELLE: IEC 60050:2011, Definition 131-13-03]

#### 3.1.4

##### **Zweig**

Teilmenge eines Netzwerks, das als Zweipol betrachtet wird und aus einem Netzwerkelement oder einer Kombination aus Netzwerkelementen besteht

[QUELLE: IEC 60050:2011, Definition 131-13-06]

#### 3.1.5

##### **Knoten**

Endpunkt eines Zweiges, der mit einem oder mehreren anderen Knoten verbunden oder nicht verbunden ist

[QUELLE: IEC 60050:2011, Definition 131-13-07]

#### 3.1.6

##### **externer Anschluss**

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, Definition 3.1]

#### 3.1.7

##### **interner Anschluss**

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, Definition 3.2]

### 3.1.8

#### **Beeinträchtigung der Funktion**

unerwünschte Abweichungen des Betriebsverhaltens eines Geräts, einer Ausrüstung oder eines Systems vom beabsichtigten Betriebsverhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „Beeinträchtigung“ kann für eine zeitweilige oder dauerhafte Siliziumbeschädigung angewendet werden.

[QUELLE: IEC 62215-3: 2013, Definition 3.4, modifiziert – Anmerkung 1 zum Begriff wurde geändert]

### 3.1.9

#### **harter Ausfall**

Fehler, der durch eine irreversible physikalische Beschädigung des Siliziums verursacht wird

### 3.1.10

#### **weicher Ausfall**

Ausfall, bei dem es sich nicht um einen harten Ausfall handelt

### 3.1.11

#### **DI**

Störungseingang

(en: Disturbance Input)

Eingangsanschluss für die Einspeisung von transienten Störungen

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

[QUELLE: IEC 62433-4:2016, Definition 3.1.9, modifiziert – für transiente Störungen]

### 3.1.12

#### **DO**

Störungsausgang

(en: Disturbance Output)

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

[QUELLE: IEC 62433-4:2016, Definition 3.1.10, modifiziert – für PPN]

### 3.1.13

#### **OO**

zu untersuchender Ausgang

(en: Observable Output)

Ausgangsanschluss oder interner Knoten, bei dem die Ausfallkriterien während der Prüfung aufgezeichnet oder berechnet werden

[QUELLE: IEC 62433-4:2016, Definition 3.1.11, modifiziert – für Ausfallkriterien]

### 3.1.14

#### **PPN**

Impulsausbreitungsnetz

(en: Pulse Propagation Network)

elektrisches Netzwerk, das das Ausbreitungsnetzwerk der Störung nachbildet

### 3.1.15

#### **PDN**

passives Verteilernetz

(en: Passive Distribution Network)

Teil des PPN, der die linearen Merkmale des Ausbreitungspfades des elektromagnetischen Rauschens beschreibt, wie etwa das Versorgungsnetz

[QUELLE: IEC 62433-2:2008, Definition 3.1.10, modifiziert – für den linearen Teil des PPN]

### 3.1.16

#### **NLB**

nichtlinearer Block

(en: Non Linear Block)

Teil des PPN, der die nichtlinearen Merkmale des Ausbreitungspfad des elektromagnetischen Rauschens beschreibt, wie etwa das Versorgungsnetz

BEISPIEL: ESD-Dioden, Klemmdioden, Rücken-an-Rücken-Dioden

### 3.1.17

#### **FB**

Fehlverhalten

(en: Failure Behavioural)

Block, der das Verhalten bei internen Fehlern der IC beschreibt

### 3.1.18

#### **VNA**

Vektor-Netzwerkanalysator

(en: Vector Network Analyzer)

Netzwerkanalysator, der in der Lage ist, komplexe Werte der S-Parameter zu messen

[QUELLE: CISPR 16-1-4, Ed. 3.0:2010, 3.1.21, modifiziert – für VNA mit zwei oder mehr Ports]

### 3.1.19

#### **PIML**

Auszeichnungssprache zur Beschreibung der Störfestigkeit gegen Impulse

(en: Pulse Immunity Markup Language)

Datenaustauschformat für das ICIM-CPI-Makromodell

### 3.1.20

#### **PIMLBase**

Basis der Auszeichnungssprache zur Beschreibung der Störfestigkeit gegen Impulse

(en: Pulse Immunity Markup LanguageBase)

abstrakter Typ, von dem alle PIML-Modellkomponenten in der Definition des ICIM-CPI direkt oder indirekt abgeleitet werden

### 3.1.21

#### **Parser**

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

### 3.1.22

#### **Abschnitt**

(en: section)

XML-Element, das eine Ebene unter dem Wurzelement oder innerhalb eines anderen Abschnitts angeordnet ist und mindestens ein Kindelement enthält, also keine Datenzeichen zum Beispiel.

### 3.1.23

#### **Eltern**

(en: parent)

Schlüsselwort, das eine Ebene über einem anderen Schlüsselwort bezeichnet (Kind)

### 3.1.24

#### **Kind**

(en: child)

Schlüsselwort, das eine Ebene unter einem anderen Schlüsselwort bezeichnet (Eltern)

## 3.2 Abkürzungen

### 3.2.1

#### **CDM**

Charged Device Model

[QUELLE: IEC/PAS 62162:2000]

### 3.2.2

#### **HBM**

Human Body Model

[QUELLE: IEC 60749-26:2013]

### 3.2.3

#### **MM**

Machine Model

[QUELLE: EOS/ESD S5.2:2012]

### 3.2.4

#### **TLP**

Übertragungsleitungspuls (en: Transmission Line Pulse)

[QUELLE: IEC 62615:2010]

### 3.2.5

#### **XML**

erweiterbare Auszeichnungssprache (en: eXtensible Markup Language)

## 3.3 Vereinbarungen

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

Das Symbol „µ“ wird im Fließtext für die Definition von Mikro = 1e–6 verwendet. Das Symbol „u“ wird in den XML-Abschnitten für die Definition von Mikro = 1e–6 verwendet.

## 4 Grundprinzipien

Mit abnehmenden Transistorgrößen und sinkenden Betriebsspannungen werden ICs immer anfälliger für schnelle transiente elektrische Beanspruchungen, wie ESD und EFT. Eine ESD kann beispielsweise bei der Handhabung von Bauteilen während des Zusammenbaus oder durch Entladung vom Körper eines Benutzers verursacht werden. Eine EFT kann beispielsweise durch das Schließen eines Schaltkontakts oder ein Schaltnetzteil verursacht werden. Die Amplitude solcher Beanspruchungen reicht von hunderten von Volt bis zu mehreren zehn kV und die Dauer von mehreren zehn bis hunderten von Nanosekunden.

Um den Ausfall elektronischer Geräte aufgrund dieser transienten Beanspruchungen zu verhindern, wurden verschiedene Prüfungen entwickelt. Mithilfe von IEC 61000-4-2 und IEC 61000-4-4 wird die Stabilität von Systembauteilen hinsichtlich ESD und EFT bewertet. Der Übertragungsleitungspuls (en: Transmission Line Pulse (TLP)) wird häufig zur Kennzeichnung von Schutzschaltungen auf dem Chip verwendet.

Zur Zeit gibt es jedoch keine Modelle, mit denen sich diese Prüfungen simulieren lassen. Realistische Modelle würden den Entwurf interner Schutzeinrichtungen ermöglichen, um ein gegebenes Ziel auf IC-Ebene zu erfüllen oder Schutzeinrichtungen auf dem Produkt zu entwickeln und so die Produktanforderungen zu erfüllen. Die Umsetzung dieser Modelle würde eine Anzahl von Prototypzyklen und somit Zeit und Geld einsparen. Damit sie leicht zugänglich sind, müssen die Modelle in einem Austauschformat dargestellt werden. Beispielsweise könnten IC-Anbieter Modelle zusammen mit den jeweiligen Datenblättern veröffentlichen. Daher lauten die Ziele des ICIM-CPI: Umsetzung und Austausch.

Das vorgeschlagene Modell beschreibt das elektrische Netz, das Impulsausbreitungsnetz (PPN), über das sich der transiente Impuls im IC ausbreitet. Dieses Netz stellt die linearen Effekte mit dem passiven Verteilernetz (PDN) dar und die nicht linearen Effekte mit dem nichtlinearen Block (NLB). Durch Simulation des PPN mit einem SPICE-Simulator können die Spannungen und Ströme innerhalb der IC vorhergesagt werden. Diese Spannungen und Ströme können Ausfälle verursachen, wie dies von der Komponente Fehlverhalten (FB) des Modells beschrieben wird. Durch einen Vergleich der simulierten Spannungen und Ströme mit den Schwellwerten beim FB lassen sich Ausfälle vorhersagen. Mehrfache Ausfallursachen (z. B. Überspannung und Überhitzung) lassen sich durch das FB beschreiben. Des Weiteren können verschiedene Abstufungen von Ausfällen vorhergesagt werden (d. h. weiche Ausfälle, die sich wieder einrichten lassen, oder harte Ausfälle, die die IC zerstören). Teil 5 definiert die Modellstruktur im Detail.

Um einen einfachen Austausch der Modelle zu ermöglichen, werden die ICIM-CPI-Modelldaten unter Verwendung des XML-Formats in einer von Menschen lesbaren, hierarchisch angeordneten Form aufgebaut. [Abschnitt 6](#) definiert, wie sich die Modellstruktur im XML-Format der Auszeichnungssprache zur Beschreibung der Störfestigkeit gegen Impulse (PIML) abbilden lässt.

## 5 Modellstruktur des ICIM-CPI

### 5.1 Allgemeines

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

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

Ein ICIM-CPI wird zur Vorhersagen des Impulsstörfestigkeitspegels einer IC verwendet, wie in Bild 1 dargestellt. Das ICIM-CPI-Modell besteht aus einem Datensatz, der diese 3 Teile beschreibt:

- PDN: das passive Verteilernetz, das die linearen Kennwerte des Impulsausbreitungspfades beschreibt
- NLB: der nichtlineare Block, der die nichtlinearen Kennwerte der Bauelemente im Impulsausbreitungspfad beschreibt
- FB: die Komponente Fehlverhalten, die beschreibt, wie der IC auf die angelegten Impulsstörungen (bezogen auf einen Masseanschluss des PDN) reagiert.

PDN und NLB bilden gemeinsam das Impulsausbreitungsnetz (PPN).

Der Impuls wird auf den externen Anschluss T1 gegeben, der als DI (Störungseingang) betrachtet wird. Die Störung kann aus der IC durch den Anschluss T2 herausfließen, der als DO (Störungsausgang) betrachtet wird. Der Störungseffekt wird an OO (zu untersuchender Ausgang) beobachtet. Das Signal an OO wird entweder am Anschluss T3 gemessen oder anhand interner Knoten des PPN berechnet. Nach dem Auswahlkriterium, das für den OO gesetzt wurde, könnte das durch schnelle Transienten verursachte Ausfallniveau abgeschätzt werden.

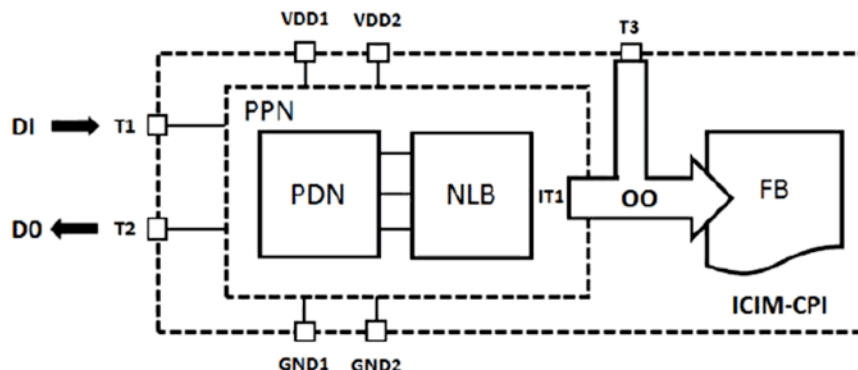


Bild 1 – Modellstruktur des ICIM-CPI

Innerhalb des PPN besteht eine direkte elektrische Verbindung zwischen dem PDN und dem NLB. Es besteht keine direkte elektrische Verbindung zwischen dem PPN und dem FB-Block.

Der Impuls, der in den DI eintritt, ist elektrisch im Zeitbereich gekennzeichnet. Der Ausfall wird in der FB-Datei beschrieben, die das Verhalten des OO abhängig von den Kennwerten des auf den DI angelegten Impulses definiert. Die FB-Datei wird anhand einer Messung oder Berechnung des Ausfalls an OO erstellt. Ein Ausfallkriterium könnte an OO angewandt werden, um den Ausfall anhand nach Klassen einzuteilen.

Der PPN-Block beschreibt das elektrische Netz, das aus linearen (PDN) und nichtlinearen Elementen (NLB) besteht, die vom Impuls gekreuzt werden. Das PDN wird aus Messungen der S-Parameter abgeleitet. Der NLB wird aus verschiedenen I/V-Messungen abgeleitet, die typischerweise zwischen dem DI und dessen zugehöriger Bezugsmasse, dem DI und dessen zugehöriger Stromversorgung sowie zwischen der Masse und der Bezugsleistung vorgenommen werden, die dem DI zugeordnet sind. Das PPN könnte entsprechend den Kenntnissen des Endbenutzers des betreffenden IC entweder aus einer IBIS-Datei oder durch Simulation mit einem Stromkreissimulator abgeleitet werden.

Das FB ist eine Datei, die die elektrischen Kennwerte im Zeitbereich des Impulses, der in den DI eintritt, sowie die am OO-Anschluss gemessenen oder im Zeitbereich berechneten elektrischen Kennwerte miteinander verbindet. Für einen DI können mehrere OO vorhanden sein. In diesem Fall muss das FB Messungen oder berechnete Werte enthalten, die sowohl am DI als auch an dem zugehörigen OO durchgeführt wurden. Ein Ausfallkriterium kann auf einen OO gesetzt werden, um den Ausfall im Sinne der Leistungsklasse nach **IEC 62215-3** auszudrücken.

Die Gültigkeit eines ICIM-CPI ist hinsichtlich der Bedingungen, unter denen es abgeleitet wird, eingeschränkt. Daher muss eine ICIM-CPI seinen Gültigkeitsbereich festlegen. Diese Bedingungen umfassen mindestens die folgenden:

- Versorgungsspannungsbereich
- Temperaturbereich
- Lastbedingungen an den IC-Anschlüssen
- Impulsbreite und Impulspegel

## 5.2 PPN

**Bild 2** zeigt die typische Struktur eines PPN. Das PPN ist demnach in zwei Teile unterteilt:

- Das PDN ist das lineare Netz, das zum Modellieren der einzelnen IC-Verbindungen (Gehäuseverbindungen, Bonddrähte usw.) verwendet wird.
- Der NLB ist der nichtlineare Block, der zum Modellieren der ESD-Schutzeinrichtungen (Dioden und andere Bauteile) verwendet wird.

Das PDN und der NLD werden durch eine Reihe von internen Anschlüssen miteinander verbunden.

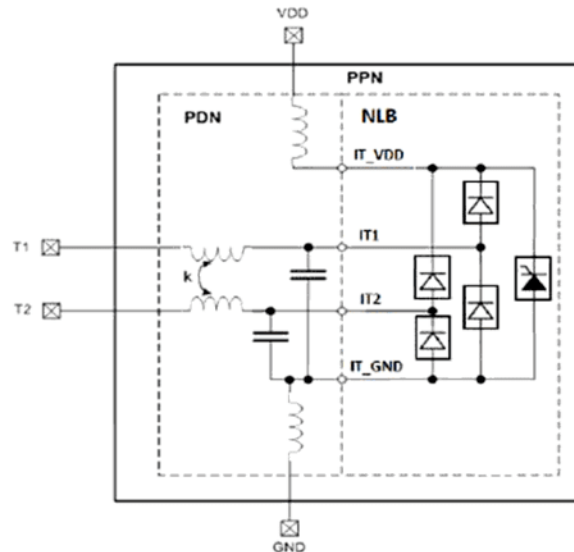


Bild 2 –Struktur eines typischen PPN

### 5.2.1 Beschreibung des PDN

Das PDN besteht aus passiven Elementen für das Gehäuse, Bondverbindungen und Verbindungen auf dem Chip. Das PDN ist ein Impedanznetzwerk, zu dem nur lineare Elemente, wie Widerstand, Kapazität und Induktivität gehören. Das Impedanznetzwerk muss alle Ausbreitungspfade berücksichtigen, die der auf den DI angesetzte Impuls nehmen kann.

Zuerst muss das PDN die Impedanz zwischen dem DI und dessen Bezugsmasse enthalten. Dann muss das PDN weitere Anschlüsse berücksichtigen, bei denen eine magnetische oder kapazitive Kopplung beim DI existiert. Wie in Bild 2 dargestellt existiert ein Pfad magnetischer Kopplung zwischen den Anschlüssen T1 und T2. Aus diesem Grund wird der Anschluss T2 als ein DO betrachtet. Das PDN muss die Impedanz zwischen dem Anschluss T2 und dessen Bezugsmasse berücksichtigen – in diesem Beispiel gemeinsam genutzt mit der Masse des Anschlusses T1 – sowie den magnetischen Kopplungsfaktor zwischen den Anschlüssen T1 und T2.

Das PDN muss auch die Stromversorgungsanschlüsse berücksichtigen, die durch den NLB mit dem DI verbunden sind. Zwischen dem PDN und dem NLB müssen interne Knoten berücksichtigt werden. In dem in Bild 2 beschriebenen Beispiel sind folgende interne Knoten vorhanden:

- IT1 verbunden mit dem Anschluss T1, wobei es sich um den DI handelt
- IT2 verbunden mit dem Anschluss T2, der mit dem Anschluss T1 magnetisch gekoppelt ist
- ITGND verbunden mit der DI-Bezugsmasse
- ITVDD verbunden mit der DI-Referenz-Stromversorgung

Das PDN wird entweder aus Messungen der S-Parameter oder aus einer IBIS-Datei abgeleitet.

### 5.2.2 Beschreibung des NLB

Der NLB beschreibt das nichtlineare Verhalten des Eingangsnetzwerks der Signal und Versorgungsanschlusstifte des Chips dar. Die nichtlinearen Elemente bestehen in der Regel aus den Schutz-Bauelementen (Dioden, Gate-geerdeten NMOS-Strukturen etc.), die die internen Anschlüsse miteinander verbinden. Bild 2 stellt den Fall für das folgende nichtlineare Netzwerk dar:

- Diode zwischen IT1 und IT\_GND
- Diode zwischen IT1 und IT\_VDD
- Klemmvorrichtung zwischen IT\_VDD und IT\_GND
- Diode zwischen IT2 und IT\_GND

- Diode zwischen IT2 und IT\_VDD

Bei mehreren Anschlussnetzwerken können manche dieselbe elektrische Struktur aufweisen und lassen sich daher durch ein eindeutiges Modell beschreiben. Zur Verringerung der Anzahl der Modelle (zwecks Vereinfachung) können die Anschlüsse einer IC in Familien zusammengefasst werden, wie etwa:

- Versorgungsanschlüsse
- digitale Eingangs-/Ausgangsanschlüsse
- analoge Eingangs-/Ausgangsanschlüsse

Der NLB kann entsprechend den Kenntnissen des Endbenutzers des betreffenden IC entweder aus einer IBIS-Datei oder durch Simulation mit einem Stromkreissimulator abgeleitet werden. Der NLB könnte auch von verschiedenen I/U-Messungen abgeleitet werden, die nach der Norm IEC 62615 in der Regel mit dem TLP-Generator durchgeführt werden.

Bild3 stellt I/U-Messungen dar, die im Falle des in Bild 2 beschriebenen PPN zu realisieren sind.

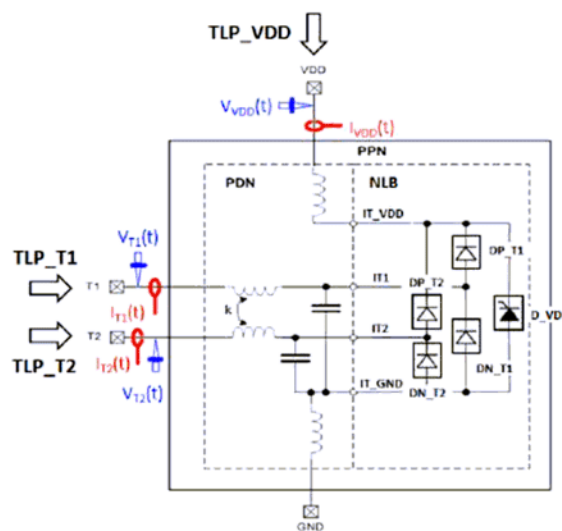


**Bild 3 – Beispiel für eine I/U-Messung zur Extraktion des NLB**

Der Bezugsanschluss für die I/U-Messungen des TLP könnte der Masseanschluss für GND oder einen beliebigen anderen Anschluss sein. Die I/U-Messungen sind im Falle des in Bild 2 beschriebenen PPN für das Herleiten des NLB erforderlich.

- Die Einspeisung kalibrierter positiver und negativer Impulse am Anschluss T1 (TLP\_T1) ermöglicht die vollständige Kennwertbestimmung der Dioden DP\_T1 und DN\_T1 für eine gegebene Impulsbreite durch die Messung der Spannung  $U_{T1}(t)$  und des Stroms  $I_{T1}(t)$  am Anschluss T1 und die Messung der Spannung  $U_{DD}(t)$  und des Stroms  $I_{DD}(t)$  am Anschluss VDD (nur bei Diode DP\_T1 erforderlich).
- Die Einspeisung kalibrierter positiver und negativer Impulse am Anschluss T2 (TLP\_T2) ermöglicht die vollständige Kennwertbestimmung der Dioden DP\_T2 und DN\_T2 für eine gegebene Impulsbreite durch die Messung der Spannung  $U_{T2}(t)$  und des Stroms  $I_{T2}(t)$  am Anschluss T1 und die Messung der Spannung  $U_{DD}(t)$  und des Stroms  $I_{DD}(t)$  am Anschluss VDD (nur bei Diode DP\_T2 erforderlich).
- Die Einspeisung kalibrierter positiver und negativer Impulse am Anschluss VDD (TLP\_VDD) ermöglicht die vollständige Kennwertbestimmung der Diode D\_VDD für eine gegebene Impulsbreite durch die Messung der Spannung  $U_{DD}(t)$  und des Stroms  $I_{DD}(t)$  am Anschluss VDD.

Die I/U-Messungen müssen für mehrere Impulsbreiten durchgeführt werden, die das erwartete Anwendungsfeld der IC abdecken.

Diese I/U-Messungen ermöglichen das Modellieren der nichtlinearen Kennwerte des ESD-Schutz-Bauelements (NLB) durch verhaltensmäßige oder physische Modellierung des Bauelements, wie in [Anhang B](#) dargestellt. Sie werden auch zur Definition der Ausfallkriterien der Leistungsklasse  $E_{IC}$  (Zerstörung) verwendet.

### 5.3 Beschreibung des FB

Das Fehlverhalten (FB) beschreibt, wie der IC auf transiente Impulse reagiert, die an einen bestimmten DI-Anschluss angelegt werden. FB verbindet die Kennwerte des Impulses, der in den DI eintritt, mit einem elektrischen Kennwert, der auch im Zeitbereich ermittelt und am OO beobachtet wird. Die FB-Datei ergibt sich aus Messungen der Störfestigkeit, die während einer TLP-Prüfung am OO durchgeführt werden. Auf den OO kann ein Ausfallkriterium angewandt werden, um den Ausfall anhand von Klassen zu klassifizieren.

Die Kennwerte des Impulses, der in den DI eintritt, kann definiert werden, wie in Bild 4 dargestellt. Üblicherweise darf man den Impuls als aus 2 Teilen bestehend:

- einen sehr kurzen Impuls, der durch einen Spitzenwert der Impuls-Spannung  $V_{MAX}$  (beziehungsweise Spitze des Stromwertes  $I_{MAX}$ ) und einer kurzen Anstiegszeit der Spitze der Impulsbreite (PPW, en: Pulse Peak Width) gekennzeichnet ist
- einen längeren Impuls, der durch einen quasistatischen Spannungswert  $V_{QS}$  (beziehungsweise einen quasistatischen Stromwert  $I_{QS}$ ) sowie durch eine lange Dauer der Impulsbreite (PW) minus der Spitze der Impulsbreite (PPW) gekennzeichnet ist.

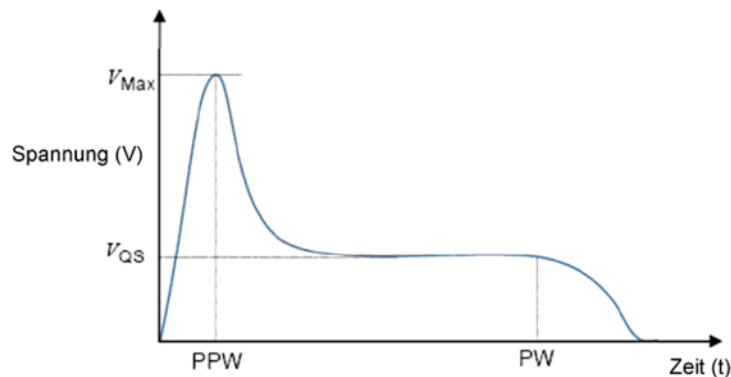


**Bild 4 – Kennwerte eines Spannungsimpulses, der in den DI eintritt**

I/U-Messungen, die zum Ermitteln des NLB erfolgen, liefern auch Informationen über das Verhalten der IC während und nach dem Impuls an. Im Allgemeinen darf davon ausgegangen werden, dass die IC im Wesentlichen aus drei Gründen zerstört wird (Leistungsklasse  $E_{IC}$ )

- Eine Überspannung, die eine Durchbruchspannung verursacht: diese Ausfallart wird beobachtet, wenn  $V_{MAX}$  bei beliebiger Impulsbreite konstant ist. Ein thermischer Durchbruch: diese Ausfallart wird beobachtet, wenn die Energie  $V_{QS} \times I_{QS} \times PW$  bei beliebiger Impulsbreite konstant ist oder die aufgenommene Energie die Chiptemperatur über eine bestimmte Grenze hinaus erhöht
- Eine Mischung aus Überspannung und Energiedurchbruch kann beispielsweise beobachtet werden, wenn  $V_{MAX}$  für eine kurze Impulsbreite konstant ist und die Energie  $V_{QS} \times I_{QS} \times PW$  für eine große Impulsbreite konstant ist.

Daher können nur  $V_{MAX}$ ,  $V_{QS}$ ,  $I_{QS}$  und  $PW$  als wesentliche Impulskennwerte betrachtet werden.

Weitere Ursachen können zu einer IC-Zerstörung führen, etwa eine Leistung, die bei der IC parasitäre Strukturen auslöst, was zu einer unmittelbaren Beschädigung der IC führt, ein  $dV/dt$  oder  $dI/dt$ , die für die IC parasitäre Strukturen auslöst, was eine unmittelbare Beschädigung nach sich zieht; diese Ursachen werden im Anwendungsbereich dieses Dokuments zur Zeit nicht berücksichtigt.

FB darf auch anderes Verhalten aufweisen, das nicht zur Zerstörung der IC führt. Die folgenden Verhaltens können auch während und nach dem Impuls beobachtet werden:

- Ein Einfrieren oder ein „Funktionstopp“, der aufgrund beispielsweise eines Softwareausfalls, der ein externes IC-Reset nach sich zieht (Leistungsklasse D), an einem bestimmten Anschluss oder auf einer IC-Ebene beobachtet wird.
- Ein automatisches IC-Reset, das an einem bestimmten Anschluss oder Ausgang beobachtet wird (Leistungsklasse C)
- Eine Zustandsänderung des Ausgangssignals während einer sehr kurzen Zeitspanne (Störimpuls) oder die Änderung eines Speicherwertes während einer sehr kurzen Zeitspanne, die gemessen und ermittelt werden könnte (Leistungsklasse B)

Bild 5 stellt den Fall eines Störimpulses dar, der am OO durch den Impuls erzeugt wird, der in den DI eintritt. Der Störimpuls kann nach dem Bedarf des Benutzers entweder im Zeitbereich durch die Breite des Störimpulses (GW, en:Glitch Width), die erwartete Spannung im Hoch-Zustand ( $V_{nom\_S1}$ ), die Spannung im Niedrig-Zustand während des Störimpulses ( $V_{S0}$ ) elektrisch charakterisiert werden.

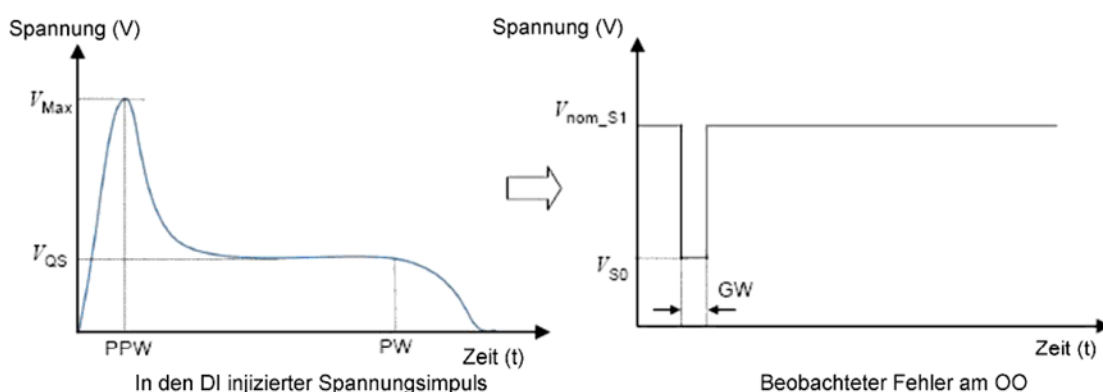


**Bild 5 – Kennwerte des OO-Impulses, der in den DI eintritt, und der entsprechende Fehler, der am OO beobachtet wird**

Tabelle 1 zeigt ein Beispiel der FB-Datei.

**Tabelle 1 – Beispiel des FB**

| Impulswerte am DI-Anschluss |                 |                 |                            | Impulswerte am OO-Anschluss |                     |                   |                          |                                |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------|
| $V_{MAX}$<br>(V)            | $V_{QS}$<br>(V) | $I_{QS}$<br>(A) | Impulsbreite<br>PW<br>(ns) | Zerstörungs-<br>Klasse E    | Freeze-<br>Klasse D | Reset-Klasse<br>C | AUSGANG x                |                                |
|                             |                 |                 |                            |                             |                     |                   | Störimpulsbreite<br>(ns) | Spannung beim<br>Zustand_0 (V) |
| < 30                        | < 5             | < 5             | < 20                       | Nein                        | Nein                | Nein              | < 20                     | > 4                            |
| 30                          | 8               | 6               | 30                         | Nein                        | Nein                | Nein              | 20                       | 2,3                            |
| 30                          | 8               | 6               | 50                         | Nein                        | Nein                | Ja                | –                        | –                              |
| 50                          | 10              | 10              | 50                         | Nein                        | Ja                  | Nein              | –                        | –                              |
| 62                          | 10              | 20              | 50                         | Ja                          | –                   | –                 | –                        | –                              |
| 20                          | 4               | 3               | 100                        | Nein                        | Nein                | Nein              | 80                       | 1                              |
| 25                          | 5               | 6               | 100                        | Nein                        | Nein                | Ja                | –                        | –                              |
| 30                          | 5               | 10              | 100                        | Nein                        | Ja                  | Nein              | –                        | –                              |
| 30                          | 7               | 14              | 100                        | Ja                          | –                   | –                 | –                        | –                              |

## 6 PIML-Format

### 6.1 Allgemeines

Daten des ICIM-CPI sind nach IEC 62433-1 im PIML-Format angeordnet. Die Daten des Modells sind in sechs Teile unterteilt:

- Header mit allgemeinen Informationen
- Beschreibung der Anschlussleitungen des IC
- Beschreibung des Gültigkeitszustands für das Modell
- Beschreibung der PDN-Daten
- Beschreibung der NLB-Daten
- Beschreibung der FB-Daten

In Bild 6 ist die Vererbungshierarchie von PIML abgebildet.

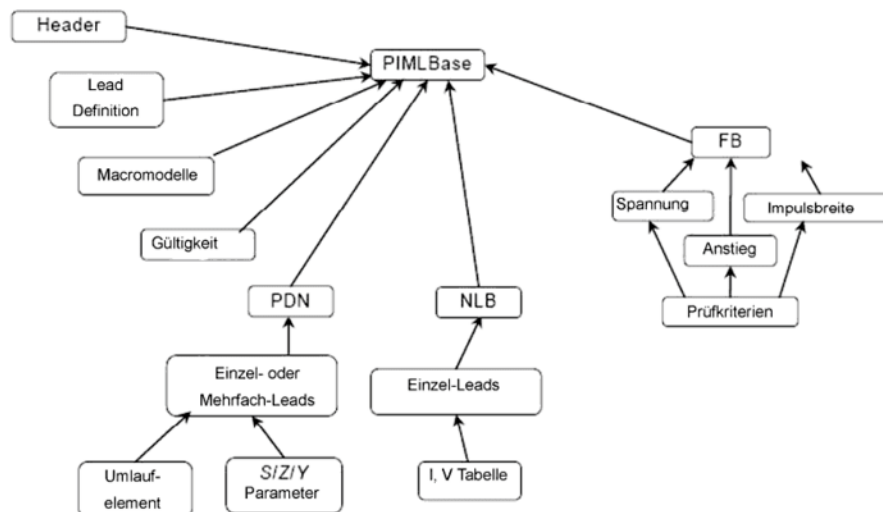


**Bild 6 – PIML-Vererbungshierarchie**

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

```

beginning of model definition
model header definition
DUT lead definitions
SPICE macro-models
model validity conditions
PDN definition
NLB definition
FB definition
end of model definition
    
```

Dieses Austauschformat verwendet IC EMCML, das in IEC 62433-1 definiert ist.

## 6.2 PIML-Struktur

Das typische ICIM-CPI muss im PIML-Format dargestellt werden, wie nachfolgend angegeben.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<PImodel>
<!-- 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 NLB DATA -->
  <Nlb>
    ...
  </Nlb>

  <!-- MODEL FB DATA -->
  <Fb>
    ...
  </Fb>
</PImodel>
```

*PImodel* ist das Wurzelement der PIML-Datei. Die Abschnitte *Header*, *Lead\_definitions*, *Validity*, *PDN*, *NLN* und *FB* sind die mindestens und zwingend erforderlichen Informationen für das ICIM-CPI. Der Abschnitt *Macromodel* ist optional.

## 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.

## 6.4 Header-Abschnitt

Die Header-Informationen des Makromodells müssen unter dem Tag *Header* definiert werden. 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
- Date
- Messverfahren

- Copyright
- Disclaimer
- Dokumentation etc.

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

```
<Header>
  <Pim ver>1.0</Pim ver>
  <Filename>ExampleICIMCPI_file.PIML</Filename>
  <File ver>1.0</File ver>
  <Author name>Valeo 1</Author name>
  <Dut>LINTRCV</Dut>
  <Date>October 1, 2016</Date>
  <Meas method>TLP</Meas method>
</Header>
```

IEC 62433-1 enthält eine ausführliche Liste der gültigen Schlüsselwörter im Abschnitt *Header*.

## 6.5 Abschnitt *Lead\_definitions*

Dieser *Abschnitt* beschreibt die verschiedenen Anschlussleitungen (Lead) (oder Anschlussstifte) der zu prüfenden IC. Jede Anschlussleitung im Abschnitt *Lead\_definitions* wird unter dem Tag *Lead* und dessen Attributen nach Tabelle 2 definiert. Die verschiedenen *Lead-Attribute* werden nacheinander aufgeführt und bilden den Abschnitt *Lead\_definitions*.

**Tabelle 2 – Attribute des *Lead*-Tags im Abschnitt *Lead\_definitions***

| <b>Lead-Attribute</b>                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Id:</b> Nummer des Anschlussstifts mit einer gültigen Zeichenfolge (verbindlich)                                                                   |
| <b>Name:</b> Name des Anschlussstifts entsprechend der Bezeichnung im Datenblatt (wahlfrei). Standardwert = "None"                                    |
| <b>Mode:</b> Betriebsart, in der der Anschlussstift für das ICIM-CPI benutzt wird (DI, "DO", "OO", "GND", "VDD") (verbindlich). Standardwert = "None" |
| <b>Type:</b> Typ der Anschlussleitung ("internal" oder "external") (wahlfrei). Standardwert = "external"                                              |

In jedem *Lead*-Tag im Abschnitt *Lead\_definitions* gibt es das verbindliche Attribut *Id*, das die Nummer der Anschlussleitung angibt. Die Anschlussleitung darf zusätzlich mit *Name*, *Mode* und *Type* definiert 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" berücksichtigt:

- 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, VDD oder GND ist.

Das Attribut *Type* ist wahlfrei und wird für DI-, DO-, OO- und GND-Anschlussstifte immer als "external" angesehen. Der Typ der Anschlussleitung kann auch "internal" lauten, wenn der OO beispielsweise nicht gemessen, aber berechnet werden kann.

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

Die angegebene Zeile teilt dem PIM-Parser mit, dass die Anschlussleitung Lead mit Id="1" und Name="T1" sowohl als DI als auch als OO benutzt wird. Standardmäßig ist der Typ des Tags Anschlussleitung "external".

Tabelle 3 gibt die Kompatibilität zwischen den Feldern *Mode* und *Type* der Lead-Struktur für eine korrekte PIML-Notation durch den PIM-Parser wieder

**Tabelle 3 – Kompatibilität zwischen den Feldern *Mode* und *Type* für eine korrekte PIML-Notation**

| Mode   | Type     |          |
|--------|----------|----------|
|        | external | internal |
| DI     | Ja       | Nein     |
| DO     | Ja       | Nein     |
| OO     | Ja       | Ja       |
| GND    | Ja       | Nein     |
| VDD    | Ja       | Nein     |
| Keiner | Ja       | Ja       |

Die verschiedenen in 5.1 beschriebenen Anschlüsse (siehe Bild 1) werden in einem verdichteten Format angegeben, bei dem der Typ ausdrücklich durch die Betriebsart beschrieben wird, wie nachfolgend dargestellt.

```
<Lead definitions>
  <Lead Id="1" Name="T1" Mode="DI" />
  <Lead Id="2" Name="T2" Mode="DO" />
  <Lead Id="3" Name="GND1" Mode="GND" />
  <Lead Id="4" Name="VDD1" Mode="VDD" />
  <Lead Id="5" Name="GND2" Mode="GND" />
  <Lead Id="6" Name="VDD2" Mode="DO" />
  <Lead Id="7" Name="GND1" Mode="GND" />
  <Lead Id="8" Name="GND3" Mode="GND" />
  <Lead Id="9" Name="T3" Mode="OO" />
</Lead definitions>
```

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

## 6.6 Abschnitt Macromodels

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* und dessen Attributen nach Tabelle 4 definiert.

**Tabelle 4 – Definition und Attribute von *Subckt***

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

Das *Subckt*-Tag hat zwei verbindliche Attribute: *Name* und *Nodes*. Das Attribut *Name* besteht aus Buchstaben und Ziffern nach den Definitionen in IEC 62433-1 Anhang B. Da diese Definitionen innerhalb des PIML-Formats den gleichen Namensraum benutzen, muss jeder Teilstromkreis einen eindeutigen Namen haben.

Das Attribut *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 (",") definiert, und diese Knoten gelten ausschließlich lokal für das Tag *Subckt*. Diese Knoten können wahlweise mit Ziffern und/oder Zeichen bezeichnet werden [3].

Das wahlfreie Attribut *Kind* teilt dem CEM-Parser mit, dass der definierte Teilstromkreis mit einer bestimmten Syntax erstellt wurde. CEML-Version 1 unterstützt die Syntax mit Netzlisten nach der Industrienorm SPICE [3]. Fehlt das Attribut *Kind*, wird es auf den Standardwert "SPICE3" gesetzt.

Das nachfolgende Beispiel 1 gibt ein Beispiel für ein *Subckt*-Element an.

**BEISPIEL 1** Beispiel für ein SPICE-kompatibles *Subckt*-Element.

```
<Subckt Name="PDN_pin1" Nodes="Node1,Node2" Kind="SPICE3">
  L1 Node1 int1 2.2e-9
  R1 int1 int2 10e-3
  C1 int2 int3 800e-12
  L1 int3 Node2 2.2e-9
</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* (siehe Beispiel 2).

**BEISPIEL 2** Beispiel für den Abschnitt *Macromodels* mit verschiedenen *Subckt*-Elementen.

```
<Macromodels>
  </Subckt Name="PDN_example1" Nodes="Node1,Node2">
  ...
</Subckt>
  </Subckt Name="PDN_example2" 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*-Tags verwendbar. Der Aufruf muss unter dem Abschnitt *Netlist* erfolgen und wird mit dem Feld *Name* adressiert. Die Anzahl der Knoten in der Aufrufzeile muss mit der Anzahl übereinstimmen, die in der *Nodes*-Attributzeile des bestimmten *Subckt* aufgeführt ist. Beispielsweise kann der definierte "PDN\_pin1" (in Beispiel 1) wie folgt aufgerufen werden:

```
<Pdn>
  ...
  <Lead Id="1" Type="Ckt">
    ...
    <Netlist>
      Xpin1 1 4 PDN_pin1
    </Netlist>
  </Lead>
  ...
</Pdn>
```

Wenn in einer externen Bibliotheksdatei ein oder mehrere Teilstromkreismodelle definiert sind, wird (werden) die Datei(en) mit dem Attribut *Data\_files* adressiert, wie in Beispiel 3 dargestellt.

**BEISPIEL 3** Beispiel eines Abschnitts *Macromodels* mit verschiedenen *Subckt*-Elementen, die in externen Daten-dateien definiert sind.

```
<Macromodels>
  <Subckt Kind="SPICE3">
    <Data_files>
      subckt_example1.lib
      subckt_example2.lib
      ...
    </Data_files>
  </Subckt>
</Macromodels>
```

Bild 7 zeigt die Definition eines typischen SPICE-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 7 – Beispiel für eine Netzlistendatei zur Definition eines Teilstromkreises**

ANMERKUNG Um Mehrdeutigkeiten bei der Verwendung von externen Datendateien, die Bibliotheken nach dem SPICE-Modell enthalten, zu vermeiden, analysiert der CEM-Parser nur die innerhalb der SPICE-Schlüsselwörter ".SUBCKT" und ".ENDS" definierten Datenanweisungen. Diese Schlüsselwörter sind nicht abhängig von Groß- und Kleinschreibung [3]. Wenn mehrere Abschnitte ".SUBCKT"- ermittelt werden, werden diese als unabhängige Stromkreiselemente analysiert.

Die Aufnahme dieses Abschnitts in eine PIML-Datei ist wahlfrei.

## 6.7 Abschnitt mit den Gültigkeitsbedingungen

### 6.7.1 Allgemeines

Der Abschnitt *Validity* wird verwendet, um die Bedingungen wiederzugeben, unter denen das ICIM-CPI-Modell definiert wird. Dieser Abschnitt ist rein informativ für den Anwender und unabhängig von allen anderen Abschnitten in der PIML-Datei.

Tabelle 5 führt die verschiedenen anerkannten Attribute im Abschnitt *Validity* auf.

**Tabelle 5 – Definition der Attribute im Abschnitt *Validity***

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

Diese Definition ist nicht vollständig und ist weiterentwicklungs- und verbesserungsfähig.

Nach IEC 62433-1 muss die mit dem IC gelieferte Dokumentation, wie Datenblätter, Prüfberichte, ICIM-CPI-Ableitungsberichte usw., unter dem globalen Schlüsselwort *Documentation* in Form einer gültigen Zeichenfolge festgelegt werden, die den Pfad zu der entsprechenden Dokumentation festlegt. Mehrere Dateipfade können nacheinander aufgeführt werden. Wenn die Zeichenfolge fehlt, ist der Standardwert "None". Weitere besondere Einzelheiten, die zur vollständigen Definition des ICIM-CPI-Modells gehören, müssen mit einer

gültigen Zeichenfolge im Abschnitt *Notes* definiert werden. Wenn die Zeichenfolge fehlt, ist der Standardwert "None".

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

```
<PImodel>
...
<Validity>
  <Power_supply>12V</Power_supply>
  <Frequency_range>[150KHz - 1GHz]</Frequency_range>
  <Temperature_range>25Celsius</Temperature_range>
  <Notes>FB Measured using 100ns TLP pulse-width</Notes>
</Validity>
...
</PImodel>
```

## 6.7.2 Attributdefinitionen

### 6.7.2.1 Power\_supply

Mit dem Attribut *Power\_supply* werden die Versorgungsbedingungen definiert, unter denen das ICIM-CPI gültig ist. Dieses Attribut teilt dem Anwender mit, dass das ICIM-CPI 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.

Dieses Attribut ist verbindlich.

Einige Beispiele des Attributs *Power\_supply* den Beispielen 1 bis 3 gezeigt.

**BEISPIEL 1** Die folgende Syntax legt fest, dass das Modell für eine Versorgungsspannung von 5 V definiert ist.

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

**BEISPIEL 2** Die folgende Syntax legt fest, dass die digitalen Blöcke der Modelldaten mit einer Versorgungsspannung von 5 V und die analogen Blöcke für eine Versorgungsspannung von 12 V definiert sind.

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

**BEISPIEL 3** Die folgenden Syntaxen legen fest, dass das Modell für Versorgungsspannungen zwischen 2,5 V und 18 V definiert ist.

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

oder

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

### 6.7.2.2 Temperature\_range

Mit dem Attribut *Temperature\_range* wird der Temperaturbereich definiert, in dem das ICIM-CPI hergeleitet wurde. Der gültige Temperaturbereich für das ICIM-CPI muss der gemeinsame Temperaturbereich von PDN, NLB und FB sein.

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.

Dieses Attribut ist verbindlich.

Einige Beispiele sind in Beispiel 1 und Beispiel 2 angegeben.

**BEISPIEL 1** Die folgenden Syntaxen legen fest, dass das Modell in einem Temperaturbereich zwischen 20 °C und 40 °C gültig ist.

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

oder

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

**BEISPIEL 2** Die folgende Syntax legt fest, dass das Modell ausschließlich für 298,15 K definiert ist.

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

## 6.8 Abschnitt PDN

### 6.8.1 Allgemeines

Der Abschnitt *PDN* des ICIM-CPI-Modells enthält einen Datensatz für den jeweiligen *Lead*-Tag und den optionalen *Validity*-Abschnitt zur Beschreibung des Modells. Die Daten müssen innerhalb des Abschnitts *PDN* wie folgt definiert werden.

```
<PDN>
  <Validity>
  </validity>
  <Lead>
    <Attribute>
    </Attribute>
  </Lead>
</PDN>
```

Der PDN-Abschnitt enthält alle Attribute aller *Lead*-Tags, die zur Beschreibung des Impedanzmodells verwendet werden. [Tabelle 6](#) beschreibt alle Attribute, die zur Beschreibung des Lead-Tags erforderlich sind.

[Tabelle 6](#) enthält die verschiedenen anerkannten Attribute des *Lead*-Tags:

Tabelle 6 – Definition des *Lead*-Tags und dessen Attributen für den Abschnitt *PDN*

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

Der Frequenzbereich der PDN-Information muss im Abschnitt *Validity* unter dem Tag *Frequency\_range* festgelegt werden.

ANMERKUNG Der für das ICIM-CPI gültige Frequenzbereich ist der gemeinsame Frequenzbereich von PDN, NLB und FB.

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

## 6.8.2 Attributdefinitionen

### 6.8.2.1 Id

Die in diesem PDN-Abschnitt verwendeten *Lead*-Ids sollten vorher unter dem Abschnitt *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 definiert werden. Es können sowohl externe als auch interne Anschlüsse festgelegt werden. Weitere Informationen können 6.8.4 und 6.8.5 entnommen werden.

Dieses Attribut ist verbindlich.

### 6.8.2.2 Ground\_id

Die in diesem PDN-Abschnitt verwendeten *Lead*-Ground\_ids sollten vorher in dem Abschnitt *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 PIM-Parser vernachlässigt. Weitere Informationen über das Attribut Type können 6.8.2.4 entnommen werden.

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

#### 6.8.2.3 Blockname

Mit dem Attribut *Blockname* wird der Name des PDN-Blocks definiert. Dieses Attribut ist wahlfrei und dient der Darstellung des PDN als Teilblock. Das Attribut dient nur der Information. Der PIM-Parser analysiert dieses Attribut 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 Attribut ist wahlfrei. Wenn es fehlt, ist der Standardwert "S".

#### 6.8.2.5 Param\_order

Das Attribut *Param\_order* teilt dem PIM-Parser mit, wie die Daten dargestellt sind. Es ist nicht definiert, wenn das PDN als Stromkreismodell nach den Erläuterungen in 6.8.3.4 und 6.8.3.5 dargestellt ist. Zur Festlegung 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 darstellen (Beispiel "S11", "S21", "S31" usw.);
- "Zij": Z-Parameter, i und j sind ganze Zahlen, die die Mess-Ports/Messanschlussstifte darstellen (Beispiel "Z11", "Z21", "Z31" usw.);
- "Yij": Y-Parameter, i und j sind ganze Zahlen, die die Mess-Ports/Messanschlussstifte darstellen (Beispiel "Y11", "Y21", "Y31" usw.).

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

Dieses Attribut ist wahlfrei. Ist kein Parameter definiert, wird als Standardwert zusammen mit dem Frequenzglied das erste Sij- oder Zij- oder Yij-Glied benutzt.

#### 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 Skala mit dem Phasenwinkel in Grad. Dieses Attribut ist wahlfrei. Wenn es fehlt, ist der Standardwert "RI".

#### 6.8.2.7 Meas\_Type

Das Attribut *Meas\_type* wird vom PIM-Parser zur Berechnung der Impedanz der bestimmten Anschlussleitung ("Id") mit SParametern 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 Attribut wird nur definiert, 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 PIM-Parser zur Berechnung der Impedanz der bestimmten Anschlussleitung ("Id") benutzt, wenn das Attribut *Type* im PDN-Abschnitt durch Netzwerkparameter beschrieben wird.

Dieses Attribut wird nur definiert, 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 IEC 62433-1, Anhang B beschrieben (Beispiel: "50ohm"). Wenn es fehlt, ist der Standardwert "50ohm".

#### 6.8.2.9 Use

Das Attribut *Use* teilt dem PIM-Parser mit, einen der Werte im Attribut *Param\_order* zu benutzen. Wenn er ausdrücklich definiert ist, wird der entsprechende Parameter als PDN benutzt. Ist kein Parameter definiert, wird als Standardwert das erste Sij- oder Zij- oder Yij-Glied benutzt.

#### 6.8.2.10 Netlist

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

Dieses Attribut ist verbindlich, wenn das Attribut *Type* im PDN-Abschnitt "Ckt" lautet.

#### 6.8.2.11 Unit\_freq und Unit\_param

Die Einheiten werden unter den Attributen *Unit\_freq* und *Unit\_param* für die Frequenz bzw. die Daten definiert. Wenn sie fehlen, ist der Standardwert für *Unit\_freq* die Grundeinheit: "Hz".

Tabelle 7 gibt den Standardwert für das Attribut *Unit\_param* als Funktion des Datentyps und des Formats an, wenn keine Werte definiert sind.

Tabelle 7 – Standardwert für das Attribut *Unit\_param*

| 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                                 |

Diese Attribute sind wahlfrei.

#### 6.8.2.12 Power\_level

Im Attribut *Power\_level* wird der Messleistungspegel für die Herleitung des PDN festgelegt (siehe [Anhang A](#)). Zur Vereinfachung: Leistungspegel zusammen mit Einheiten.

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

#### 6.8.2.13 Data\_files und List

Mit dem Attribut *Data\_files* wird zwischen internen und externen Daten unterschieden. Wenn das *Lead*-Tag der PDN-Daten in einer externen Datei beschrieben wird, muss unter dem Attribut *Data\_files* der Link zu der Datei festgelegt werden. Gegebenenfalls werden interne Daten unter dem Tag *Lead* unmittelbar in der obersten Ebene in einem Attribut *List* definiert.

Tabelle 8 zeigt für das Attribut *Data Files* zulässige externe Dateien.

**Tabelle 8 – Zulässige externe Dateien für das Attribut *Data File***

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

Das Attribut *List* ist nicht definiert, wenn das Stromkreismodell zur Beschreibung des Tags *Lead* im Abschnitt PDN verwendet wird. Das Attribut *Data\_files* wird nur für Netzwerkparameter (*S/Z/Y*) und die Beschreibung der Netzliste definiert.

Dieses Attribut ist verbindlich; zur Definition des *Lead*-Tags des PDN-Abschnitts muss ein eindeutiges *List*- oder *Data\_files*-Attribut benutzt werden.

### 6.8.3 PDN-Datendarstellung

#### 6.8.3.1 Allgemeines

In Abhängigkeit vom verwendeten Simulationswerkzeug kann das PDN mit verschiedenen Netzwerkparametern wie *S*-, *Z*-, *Y*- Parametern oder als Stromkreis/Netzliste mit elektrischen R-, L- und C-Elementen dargestellt werden.

[Tabelle 9](#) führt die gültigen Attribute einer *Lead*-Struktur für die Definition eines massebezogenen PDN auf und gibt deren Nutzung an.

**Tabelle 9 – Gültige Attribute des Lead-Tags für ein massebezogenes PDN**

| Feld                | Beschreibung                                                           | Nutzung                                        | Regeln                                                                                                  |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Id                  | Bezeichnung oder Nummer des Anschlussstifts                            | verbindlich                                    | eine eindeutige Id, die vorher im Abschnitt Lead-definitions definiert wird                             |
| Ground_id           | Bezeichnung oder Nummer des Anschlussstifts für die Signalerückleitung | verbindlich, sofern Type="S" oder "Z" oder "Y" | eine eindeutige Id, die vorher als GND im Abschnitt Lead-definitions definiert wird                     |
| Blockname           | Name der PDN-Blockkomponente                                           | wahlfrei                                       | gültige Zeichenfolge (siehe 6.8.1)                                                                      |
| Type                | PDN-Quellparameter (S/Z/Y/Stromkreis)                                  | wahlfrei                                       | gültige Zeichenfolge: "S" (Standardwert) oder "Z" oder "Y" oder "Ckt"                                   |
| Param_order         | Reihenfolge, in der die Parameter definiert sind                       | wahlfrei                                       | gültige Zeichenfolge (siehe 6.8.1)                                                                      |
| Format              | Datenformat                                                            | wahlfrei                                       | "RI" (Standardwert) oder "DB" oder "MA"                                                                 |
| Meas_type           | implementiertes Verfahren für die Durchführung der PDN-Messungen       | wahlfrei                                       | "0" (Standardwert) oder "1" oder "2"                                                                    |
| Reference_impedance | Referenzimpedanz für PDN-Messungen                                     | wahlfrei                                       | gültiger Zahlenwert mit Einheiten<br>Standardwert: "50ohm"                                              |
| Use                 | besonders anzuwendender Parameter                                      | wahlfrei                                       | einer der Werte in Param_order außer dem Frequenzglied.<br>Standardwert: erstes S- oder Z- oder Y-Glied |
| Netlist             | SPICE-Netzliste                                                        | verbindlich, sofern Type="Ckt"                 | gültige SPICE-Datenanweisungen siehe 6.8.3.4 und 6.8.3.5                                                |
| Unit_freq           | Einheiten der Frequenz                                                 | wahlfrei                                       | gültige Einheiten<br>Standardwert: "Hz"                                                                 |
| Unit_param          | Einheiten des Parameters                                               | wahlfrei                                       | gültige Einheiten<br>Standardwerte siehe 6.8.2.11                                                       |
| Power_level         | Messleistungspegel                                                     | wahlfrei                                       | gültiger Zahlenwert mit Einheiten<br>Standardwert: "0dBm"                                               |
| Data_files          | in einer externen Datei definierter PDN-Quellparameter                 | verbindlich, falls nicht List                  | gültig für externe Netzlistendatei oder externe Datei der Netzwerkparameter                             |
| List                | PDN-Dateneinträge in Form einer intern definierten Liste               | verbindlich, falls nicht Data_files            | gültige numerischer Wert mit oder ohne Einheiten in der festgelegten Reihenfolge                        |

Die Zusammensetzung der Attribute *Id*, *Ground\_id*, *Type*, *Param\_order* und *Format* sind bereits in 6.8.2 erläutert worden. Der PIM-Parser versteht die PDN-Definition für einen bestimmten Anschlussstift als massebezogen, wenn das Attribut *Id* einen eindeutigen Wert enthält (z. B. Id="1").

Das Attribut *Meas\_Type* wird nur dann erkannt, wenn das PDN mit S-Parametern (Type="S") definiert ist. Bei allen anderen Typen bleibt dieses Attribut unberücksichtigt. PIML-Version 1 unterstützt die folgenden Werte für *Meas\_type* für ein massebezogenes PDN mit S-Parametern:

- "0" für einen üblichen Messaufbau (Standardwert);
- "1", wenn der Prüfling parallel zu den Mess-Ports geschaltet ist (Nebenschlusschaltung);
- "2", wenn der Prüfling in Reihe zu den Mess-Ports geschaltet ist (Reihenschaltung).

Die bei den PDN-Messungen benutzte Referenzimpedanz wird unter dem Attribut *Reference\_impedance* festgelegt. Dieses Attribut wird nur dann erkannt, wenn das *Lead-Tag* des PDN-Abschnitts mit S-Parametern (Type="S") beschrieben wurde.

In [Anhang A](#) sind verschiedene Messanordnungen für die Herleitung eines massebezogenen PDN nach den Definitionen von IEC CISPR 17 angegeben. Falls nicht, ist der Standardwert für *Meas\_type* "0" (übliches Verfahren).

Daten für Netzwerkparameter sowie für die Definition des Stromkreises (Netzliste) können entweder innerhalb der PIML-Datei oder in externen Datendateien definiert werden.

### 6.8.3.2 Interne Daten – Netzwerkparameter

Sofern die Netzwerkparameter (*S*, *Z* oder *Y*) für eine einzelne Frequenz definiert werden, können diese direkt unter dem Tag *Lead* definiert werden. Wenn das PDN für mehrere Frequenzen definiert wird (mehr als eine Frequenz), müssen die Daten unter dem Attribut *List* aufgeführt werden. Die verschiedenen DI- oder DO-Anschlussleitungen, deren PDN zu definieren ist, müssen mit dem Attribut *Id* und der Masseleitung (Anschlussleitung mit *Mode*="GND" im Abschnitt *Lead\_definitions*) definiert werden. Letztere wird als Rückleitungspfad benutzt und muss mit dem Attribut *Ground\_id* festgelegt werden.

Die Einheiten der Frequenz müssen im Attribut *Unit\_freq* definiert und die Einheiten der Daten mit dem Attribut *Unit\_param* festgelegt werden. Der Leistungspegel für die Messung muss mit dem Attribut *Power\_level* und die Referenzimpedanz mit dem Attribut *Reference\_impedance* definiert werden. Weitere Informationen über diese Attribute und deren Standardwerte können [6.8.2](#) entnommen werden.

Beispiel 1 gibt das massebezogene PDN der Anschlussleitung "1" wieder, welches mit *S*-Parametern definiert ist, die mit dem üblichen VNA-1-Port-Verfahren mit Anschlussleitung "7" als Masse (Anschlussstift für die Signalarückleitung) gemessen wurden. Es gilt der Standardwert *Use*="S11". Das PDN wird modelliert als Block mit dem Feld *Blockname*, das als "Block\_PDN1" definiert ist.

BEISPIEL 1 Ein massebezogenes PDN wird mithilfe interner *S*-Parameter definiert.

```
<PDN>
  <!-- S Parameters inline data, multi-frequencies -->
  <Validity>9kHz-3GHz</Validity>
  <Lead Id="1";Ground_id="7";Type="S";Pa ram_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 Daten in externen Dateien – Netzwerkparameter

Damit der PIM-Parser die erforderliche externe Datendatei im ASCII-Format nutzt, muss dies mit dem Attribut *Data\_files* definiert werden. Wenn die externe Datei eine Touchstone-Erweiterung (\*.snp oder \*.SnP mit n als ganze Zahl 1, 2,...) besitzt, sind die Definitionen für *Unit\_param*, *Unit\_freq*, *Param\_order*, *Reference\_impedance* und *Type* nicht erforderlich (falls ausdrücklich definiert, werden sie vom PIM-Parser vernachlässigt). Für alle anderen Dateierweiterungen (\*.dat, \*.csv, \*.txt) werden die definierten Werte benutzt. Sind sie nicht vorhanden, werden automatisch Standardwerte angesetzt. Standardeigenschaften können [Tabelle 6](#) entnommen werden. Wie bei der Definition interner Daten in 6.8.3.2 ist das Attribut *Ground\_id* verbindlich und das Attribut *Meas\_type* wahlfrei.

Messleistungspegel müssen immer ein Teil der externen Datei als Kommentar sein oder mit dem Attribut *Power\_level* definiert werden. Kommentarzeilen in der PDN-Datei müssen wie nachfolgend angegeben mit einem Ausrufezeichen (!) beginnen.

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

Bild 8 zeigt ein Beispiel der Datei im Touchstone-Format mit  $S_{11}$ -Parametern im dB-Format für einen massebezogenen Eingang in Abhängigkeit von der Frequenz.

ANMERKUNG Der Messleistungspegel ist als Kommentar in die PDN-Datei aufgenommen worden.

```
!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
```

**Bild 8 – PDN-Darstellung als S-Parameter im Touchstone-Format**

Diese Daten können mit einem Ein-Port-Vektor-Netzwerkanalysator nach den Erläuterungen in A.2.3 ermittelt werden.

Beispiel 2 zeigt die Anwendung für diese Datei zur Definition des PDN der Anschlussleitung "1" bezogen auf Anschlussleitung "7" (wird als Anschlussstift für die Signalerückleitung benutzt) angegeben. Auch wenn keine Festlegungen getroffen sind, wird als Standardwert Use="S11" benutzt.

BEISPIEL 2 Ein massebezogenes PDN wird mithilfe von S-Parametern definiert, die in einer externen Datendatei gespeichert sind.

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

Bild 9 zeigt ein Beispiel der Datei im Touchstone-Format mit Zwei-Port-S-Parametern im Real-/Imaginärformat für einen massebezogenen Eingang in Abhängigkeit von der Frequenz, gemessen mit dem Zwei-Port-Parallelverfahren.

```
!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
```

**Bild 9 – PDN-Darstellung als Zwei-Port-S-Parameter im Touchstone-Format**

Diese Daten können mit einem Zwei-Port-Vektor-Netzwerkanalysator nach den Erläuterungen in A.2.4 und A.2.5 ermittelt werden.