

	DIN EN 62433-3 (VDE 0847-33-3)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 31.200; 33.100.20; EMV-IC-Modellierung – Teil 3: Modelle integrierter Schaltungen für die Simulation des Verhaltens bei elektromagnetischer Beeinflussung – Modellierung von abgestrahlten Aussendungen (ICEM-RE) (IEC 62433-3:2017); Deutsche Fassung EN 62433-3:2017 EMC IC modelling – Part 3: Models of Integrated Circuits for EMI behavioural simulation – Radiated emissions modelling (ICEM-RE) (IEC 62433-3:2017); German version EN 62433-3:2017 Modèles de circuits intégrés pour la CEM – Partie 3: Modèles de circuits intégrés pour la simulation du comportement lors de perturbations électromagnétiques – Modélisation des émissions rayonnées (ICEM-RE) (IEC 62433-3:2017); Version allemande EN 62433-3:2017 Gesamtumfang 95 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2017-03-03 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2017-10-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 62433-3 (VDE 0847-33-3):2015-02.

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

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

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

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

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Dokumenten

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

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

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

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC/TS 62433-1	–	–
EN 62433-2	IEC 62433-2	DIN EN 62433-2 (VDE 0847-33-2)	VDE 0847-33-2
EN 61967-1	IEC 61967-1	DIN EN 61967-1	–
–	IEC/TS 61967-3	DIN IEC/TS 61967-3 (VDE V 0847-21-3)	VDE V 0847-21-3

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 62433-2 (VDE 0847-33-2), *EMV-IC-Modellierung – Teil 2: Modelle integrierter Schaltungen für die Simulation des Verhaltens bei elektromagnetischer Beeinflussung – Modellierung leitungsgeführter Aussendungen (ICEM-CE)*

DIN EN 61967-1, *Integrierte Schaltungen – Messung von elektromagnetischen Aussendungen im Frequenzbereich von 150 kHz bis 1 GHz – Teil 1: Allgemeine Bedingungen und Definitionen*

DIN IEC/TS 61967-3 (VDE V 0847-21-3), *Integrierte Schaltungen – Messung von elektromagnetischen Aussendungen – Teil 3: Messung der abgestrahlten Aussendungen – Verfahren der Oberflächenabtastung*

**EMV-IC-Modellierung –
Teil 3: Modelle integrierter Schaltungen für die Simulation des Verhaltens bei
elektromagnetischer Beeinflussung –
Modellierung von abgestrahlten Aussendungen (ICEM-RE)
(IEC 62433-3:2017)**

EMC IC modelling –
Part 3: Models of Integrated Circuits for EMI
behavioural simulation –
Radiated emissions modelling (ICEM-RE)
(IEC 62433-3:2017)

Modèles de circuits intégrés pour la CEM –
Partie 3: Modèles de circuits intégrés pour la
simulation du comportement lors de
perturbations électromagnétiques –
Modélisation des émissions rayonnées
(ICEM-RE)
(IEC 62433-3:2017)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2017-03-03 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

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

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

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



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

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

© 2017 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 62433-3:2017 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 47A/1000/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 62433-3, erarbeitet vom SC 47A „Integrated circuits“ des IEC/TC 47 „Semiconductor devices“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 62433-3:2017 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2017-12-03
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2020-03-03

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 62433-3:2017 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung ist unter „Literaturhinweise“ zu der aufgelistete Norm die nachstehende Anmerkung einzutragen:

ISO 8879:1986

ANMERKUNG Harmonisiert als EN 28879:1990¹⁾

1) Zurückgezogene Publikation.

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe, Abkürzungen und Vereinbarungen	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Abkürzungen	10
3.3 Vereinbarungen	10
4 Grundprinzipien	11
5 Beschreibung des ICEM-RE-Makromodells	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Beschreibung des PDN	12
5.3 Beschreibung der IA	16
5.4 Berechnung und Simulation des elektromagnetischen Felds	16
6 REML-Format	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 REML-Struktur	18
6.3 Globale Schlüsselwörter	19
6.4 Header-Abschnitt	19
6.5 Definition der Frequenz	20
6.6 Definition des Koordinatensystems	21
6.7 Definition der Referenzbedingungen	21
6.8 Abschnitt mit den Gültigkeitsbedingungen	22
6.9 PDN	24
6.10 IA	32
7 Herleitung	39
7.1 Allgemeines	39
7.2 Randbedingungen für die Herleitung der Umweltbedingungen	39
7.3 Ermittlung von Modellparametern aus Nahfelddaten	39
7.4 Herleitung auf der Basis der ICEM-CE-Simulation	46
8 Gültigkeitsnachweis	47
Anhang A (normativ) Vorläufige Definitionen für die XML-Darstellung	49
A.1 XML-Grundlagen	49
A.1.1 XML-Vereinbarung	49
A.1.2 Grundelemente	49
A.1.3 Wurzelement	49
A.1.4 Kommentare	50
A.1.5 Zeilenabschluss	50

A.1.6	Hierarchie der Elemente.....	50
A.1.7	Attribute der Elemente.....	50
A.2	Anforderungen an Schlüsselwörter	50
A.2.1	Allgemeines	50
A.2.2	Zeichen für Schlüsselwörter	51
A.2.3	Syntax von Schlüsselwörtern	51
A.2.4	Dateistruktur	51
A.2.5	Werte	53
Anhang B (informativ)	Elektromagnetische Felder, die von einem elektrischen und einem magnetischen Elementardipol ausgestrahlt werden	56
B.1	Elektrischer Dipol.....	56
B.2	Magnetischer Dipol.....	58
Anhang C (informativ)	Beispieldateien	61
C.1	Mindestanforderungen an eine ICEM-RE-Standarddatei.....	61
C.2	Beispiel für einen Mikrocontroller im REML-Format.....	62
Anhang D (normativ)	Gültige Schlüsselwörter für REML und deren Nutzung	64
D.1	Schlüsselwörter für <i>Root element</i>	64
D.2	Schlüsselwörter für den Datei-Header	65
D.3	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Validity</i>	66
D.4	Globale Schlüsselwörter.....	66
D.5	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Pdn</i>	67
D.6	Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Ia</i>	68
Anhang E (informativ)	ICEM-RE-Herleitungsverfahren	70
E.1	Allgemeines	70
E.2	Modellierungsverfahren für das ICEM-RE.....	70
E.2.1	Model _{Hman}	70
E.2.2	Model _H	70
E.2.3	Model _{EM_Inv}	72
E.2.4	Model _{EM_Iter}	73
E.2.5	Model _{EM_TD}	73
E.2.6	Leitfaden zur Modellauswahl.....	74
E.3	Umgebung für die Modellierung des ICEM-RE aus Nahfelddaten.....	75
E.3.1	Allgemeines	75
E.3.2	Design-Ablauf der Modellierung	75
E.3.3	Import des ICEM-RE in elektromagnetische 3D-Werkzeuge	77
E.4	Modellierung des ICEM-RE aus dem ICEM-CE.....	77
Anhang F (informativ)	Beispiele für den Gültigkeitsnachweis des ICEM-RE	79
F.1	Allgemeines	79

F.2	Gültigkeitsnachweis an einem Mikrocontroller	79
F.2.1	Allgemeines	79
F.2.2	Einzelheiten des Mikrocontrollers	79
F.2.3	Fall 1: Auswahl des manuell bestimmten Modells Model _{Hman}	79
F.2.4	Fall 2: Auswahl eines der automatisch ermittelten Modelle des magnetischen Felds	80
F.3	Gültigkeitsnachweis an einer Oszillatorschaltung	82
F.4	Beispiel für den Gültigkeitsnachweis an passiven Bauelementen	85
F.5	Beispiele für den Gültigkeitsnachweis an aktiven Bauelementen	86
F.5.1	Herleitung aus Nahfeldmessungen	86
F.5.2	Herleitung aus dem ICEM-CE	86
Anhang G (informativ)	Beispiele für die Nutzung des ICEM-RE-Makromodells	88
G.1	Allgemeines	88
G.2	Nutzungsmethoden für das ICEM-RE-Makromodell	88
Literaturhinweise		90
Anhang ZA (normativ)	Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	91

Bilder

Bild 1	– Allgemeine Struktur des ICEM-RE	12
Bild 2	– Geometrische Darstellung des PDN des ICEM-RE	13
Bild 3	– Darstellung eines Elementardipols im PDN des ICEM-RE	13
Bild 4	– Elementare Stromschleife mit dem Radius a im dreidimensionalen Raum	14
Bild 5	– Dualitätstheorem zwischen einer Stromschleife und einem magnetischen Dipol	14
Bild 6	– Beispiel für Referenzpunkte zur Beschreibung der Geometrie	15
Bild 7	– Definition des PDN bei drei verschiedenen Frequenzen	16
Bild 8	– REML-Vererbungshierarchie	18
Bild 9	– Format zur Definition von PDN-Vektordaten in einer externen Datei	28
Bild 10	– Format zur Definition von IA-Vektordaten in einer externen Datei	36
Bild 11	– Messung des elektromagnetischen Felds	40
Bild 12	– B_z -Feld in nT, gemessen 3 mm über dem Mikroprozessor bei 80 MHz	41
Bild 13	– Beispiel für ein elektromagnetisches Feld, abgestrahlt von einem linienförmigen Elementarstrom	42
Bild 14	– Manuelle Abbildung des Stroms	42
Bild 15	– Darstellung eines Modells mit N automatisch ermittelten Dipolen	43
Bild 16	– Vergleich zwischen dem modellierten und dem gemessenen elektromagnetischen Feld in einer Höhe von 2 mm über einem Oszillator	45
Bild 17	– Einfache Darstellung des ICEM-CE-PDN, welches das Gehäuse und die Impedanz von internem Netzwerk zwischen den Stromschienen darstellt	46
Bild 18	– Umbau der Geometrie des Gehäusemodells (ICEM-RE-PDN) aus IBIS-Daten und deren Verknüpfung mit dem elektrischen Modell (ICEM-CE-PDN)	47
Bild 19	– Grafische Darstellung des Beispiels für das Verfahrens des Gültigkeitsnachweises	48

Bild A.1 – Mehrere XML-Dateien	52
Bild A.2 – XML-Dateien mit Datendateien (*.dat)	52
Bild A.3 – XML-Dateien mit zusätzlichen Dateien	53
Bild B.1 – Linienförmiger Elementarstrom im Raum.....	56
Bild B.2 – Magnetischer Elementardipol im Raum	58
Bild C.1 – Mikrocontrollers, der in der Darstellung genutzt wird.....	62
Bild C.2 – Darstellung der Datendatei mit der PDN-Information des Mikrocontrollers	63
Bild C.3 – Darstellung der Datendatei mit der IA-Information des Mikrocontrollers	63
Bild E.1 – Manuell definiertes Feld elektrischer Dipole im Model _{Hman}	70
Bild E.2 – Feld elektrischer und magnetischer Dipole im Model _{EM_Inv}	72
Bild E.3 – Beispiel für die Modellierungsumgebung des ICEM-RE	75
Bild E.4 – Design-Ablauf der ICEM-RE-Modellierung	76
Bild E.5 – Beispiel für eine importierte PDN und IA eines ICEM-RE in ein 3D-Simulationswerkzeug.....	77
Bild E.6 – Design-Ablauf für die Ermittlung des ICEM-RE aus dem ICEM-CE-Modell	78
Bild F.1 – Mikrocontrollerschaltung für den Gültigkeitsnachweis des Modells	79
Bild F.2 – Manuell ermittelte Dipole, die das PDN des Mikrocontrollers darstellen	80
Bild F.3 – Vergleich zwischen dem modellierten und dem gemessenen Feld in einer Höhe von 4 mm über dem Mikrocontroller anhand von Model _{Hman}	80
Bild F.4 – Gültigkeitsnachweis von Model _H am Mikrocontroller	81
Bild F.5 – Ermittlung der Dipole, die den Mikrocontroller darstellen, mit dem Model _{EM_Iter}	81
Bild F.6 – Gültigkeitsnachweis von Model _{EM_Iter} am Mikrocontroller	82
Bild F.7 – Oszillatorschaltung für den Gültigkeitsnachweis des Modells.....	82
Bild F.8 – Schaltplan des für den Gültigkeitsnachweis benutzten Oszillators	83
Bild F.9 – Gültigkeitsnachweis der Vorhersage des magnetischen Felds mit Model _{EM_Inv} und Model _{EM_Iter} am Oszillator in einer Höhe von 10 mm	84
Bild F.10 – Gültigkeitsnachweis der Vorhersage des elektrischen Felds mit Model _{EM_Inv} und Model _{EM_Iter} am Oszillator in einer Höhe von 10 mm	84
Bild F.11 – Modelliertes größtes magnetisches Gesamtfeld als Funktion der Höhe (z) über dem Oszillator im Vergleich zur Messung	85
Bild G.1 – Typische vom ICEM-RE berücksichtigte EMV-Aspekte auf Betriebsmittel- und Systemebene.....	89
Tabellen	
Tabelle 1 – PDN-Format.....	15
Tabelle 2 – Definition des Abschnitts <i>Validity</i>	22
Tabelle 3 – Definition des Abschnitts Submodel des Elements <i>Pdn</i>	25
Tabelle 4 – Definition des Schlüsselworts <i>Vector</i> im Abschnitt <i>Pdn</i>	26
Tabelle 5 – Gültige Felder des Schlüsselworts Submodel für ein Einzelfrequenz-PDN	27
Tabelle 6 – Bedingungen für eine richtige Notation eines Einzelfrequenz-PDN durch den REM Parser	27

Tabelle 7 – Gültige Felder des Schlüsselworts Vector für ein Einzelfrequenz-PDN.....	27
Tabelle 8 – Gültige Dateierweiterungen im Abschnitt <i>Pdn</i>	29
Tabelle 9 – Bedingungen für eine richtige Notation eines Mehrfrequenz-PDN durch den REM Parser.....	30
Tabelle 10 – Definition des Abschnitts <i>Submodel</i> des Elements <i>la</i>	33
Tabelle 11 – Definition des Schlüsselworts <i>Vector</i> im Abschnitt <i>la</i>	33
Tabelle 12 – Gültige Felder des Schlüsselworts Submodel für ein Einzelfrequenz-IA	35
Tabelle 13 – Bedingungen für eine richtige Notation eines Einzelfrequenz-IA durch den REM Parser.....	35
Tabelle 14 – Gültige Felder des Schlüsselworts Vector für ein Einzelfrequenz-IA.....	35
Tabelle 15 – Zulässige Dateierweiterungen im Abschnitt <i>la</i>	37
Tabelle 16 – Bedingungen für eine richtige Notation einer Mehrfrequenz-IA durch den REM Parser	38
Tabelle A.1 – Gültige logarithmische Einheiten.....	54
Tabelle E.1 – Leitfaden zur ICEM-RE-Modellauswahl	74
Tabelle F.1 – Nachweis der Gültigkeit des ICEM-RE-Modells an passiven Strukturen.....	86

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 62433 stellt ein Verfahren für die Ableitung eines Makromodells bereit, mit dem die Simulation der abgestrahlten Aussendungen einer integrierten Schaltung (IC; en: integrated circuit) möglich ist. Dieses Modell wird allgemein als Modell der abgestrahlten Aussendungen integrierter Schaltungen (en: Integrated Circuit Emissions Model – Radiated Emission, ICEM-RE) bezeichnet. Dieses Modell ist vorgesehen, um eine vollständige IC mit oder ohne zugehöriges Gehäuse, Funktionsblocks sowie urheberrechtlich geschützte Blocks (IP; en: Intellectual Property) sowohl analoger als auch digitaler ICs (Eingangs-/Ausgangsanschlussstifte, digitaler Kern und Versorgung) zu modellieren, wenn gemessene oder simulierte Daten nicht direkt in Simulationswerkzeuge importiert werden können.

Das vorgeschlagene IC-Makromodell wird in ein elektromagnetisches 3D-Simulationswerkzeug eingegeben, um:

- die Nahfeldaussendungen der IC vorherzusagen;
- die Auswirkung der abgestrahlten Aussendungen auf benachbarte ICs, Leitungen, Übertragungsstrecken usw. zu bewerten.

Dieser Teil von IEC 62433 besteht aus zwei Hauptteilen:

- der erste Teil enthält die elektrische Beschreibung der Elemente des ICEM-RE-Makromodells;
- der zweite Teil beschreibt ein universelles Datenaustauschformat, welches als REML bezeichnet wird und auf XML basiert. Mit diesem Format ist eine gebrauchsfähige und allgemeine Form der Codierung des ICEM-RE für die Simulation von Aussendungen möglich.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

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

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

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

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

3 Begriffe, Abkürzungen und Vereinbarungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Elektrischer Dipol

lineares stromführendes Element oder Leitung, welche(s) immer eine endliche Länge besitzt

3.1.2

Stromschleife

geschlossenes stromführendes Element oder Leitung, welche(s) immer einen endlichen Radius besitzt

3.1.3

Magnetischer Dipol

lineares magnetstromführendes Element oder Leitung, welche(s) eine endliche Länge besitzt

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein magnetischer Dipol ist als Magnetquelle das äquivalente Gegenstück zum elektrischen Dipol, welches für mathematische Ausdrücke verwendet wird. Diese Größe ist rein mathematisch und nicht physikalisch.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dieser Begriff wird abstrakt verwendet, um die Bewegung magnetischer Ladungen zu erklären, die magnetische Ströme verursachen, wenn ein Vergleich zu ihren dualen Mengen an beweglichen elektrischen Ladungen, die elektrische Ströme verursachen, angestellt wird.

3.1.4

PDN

(en: Passive Distribution Network)

passives Verteilernetz

Komponente eines IC-Modells, das die geometrische Grundfläche beschreibt, auf der äquivalente Strahlungsquellen positioniert werden.

3.1.5

IA

(en: Internal Activity)

interne Aktivität

Komponente eines IC-Modells, dargestellt durch eine Strom- oder Spannungsquelle, die auf die Aktivität von aktiven Bauelementen in einer integrierten Schaltung oder einem Teil einer integrierten Schaltung zurückzuführen ist

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Teil von IEC 62433 wird allgemein eine Stromquelle genutzt, um die Elemente des PDN anzuregen.

[QUELLE: IEC TS 62433-1:2011, 3.3, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt]

3.1.6

Model_{Hman}

Modell der abgestrahlten magnetischen Aussendungen mit manueller Quellenermittlung

3.1.7

Model_H

Modell der abgestrahlten magnetischen Aussendungen mit automatischer Quellenermittlung

3.1.8

Model_{EM_Inv}

Modell der abgestrahlten elektrischen und magnetischen Aussendungen mit automatischer Quellenermittlung unter Anwendung der Methode der Matrixinversion für die Problemlösung

3.1.9

Model_{EM_Iter}

Modell der abgestrahlten elektrischen und magnetischen Aussendungen mit automatischer Quellenermittlung unter Anwendung einer iterativen Methode für die Problemlösung

3.1.10

Modell_{EMTD}

zeitharmonisches Modell der abgestrahlten elektrischen und magnetischen Aussendungen mit automatischer Quellenermittlung unter Anwendung einer iterativen Methode für die Problemlösung

3.1.11

Abschnitt

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

[QUELLE: IEC 62433-4:—, 3.1.1]

3.1.12

Eltern

Schlüsselwort, das eine Ebene über einem anderen Schlüsselwort bezeichnet

[QUELLE: IEC 62433-4:—, 3.1.2]

3.1.13

Kind

Schlüsselwort, das eine Ebene unter einem anderen Schlüsselwort bezeichnet

[QUELLE: IEC 62433-4:—, 3.1.3]

3.1.14

Parser

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

[QUELLE: IEC 62433-4:—, 3.1.6]

3.1.15

Auszeichnungssprache zur Beschreibung abgestrahlter Aussendungen

REML (en: Radiated Emissions Markup Language)

Datenaustauschformat für das ICEM-RE-Makromodell

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung gilt ausschließlich für die französische Sprache.

3.2 Abkürzungen

REM	Modell der abgestrahlten Aussendungen (en: Radiated Emission Model)
XML	erweiterbare Auszeichnungssprache (en: eXtensible Markup Language)

3.3 Vereinbarungen

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

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

4 Grundprinzipien

Die Komplexität und Diversität integrierter Schaltungen (ICs) in Bezug auf die Integrationsdichte und die Funktionsfähigkeit nimmt mit jeder Entwicklungsstufe bei einem reduzierten Formfaktor zu. ICs sind bei geringeren Versorgungsspannungen zudem schneller denn je geworden. Moderne ICs dürfen auf einem Chip Hochfrequenzmodule mit analogen und/oder digitalen logischen Kernen vereinen. Auch die Packungsdichte von Leiterplatten (PCB) mit solchen ICs hat zugenommen. Die Aussendungen von einer IC können in die benachbarten Komponenten (ICs, passive Komponenten, Leiterbahnen usw.) zurückgekoppelt werden und ein unerwünschtes Verhalten des Systems oder auch den Ausfall des Systems verursachen. Somit gewinnen die Aussendungen von ICs immer mehr an Bedeutung.

Infolge dieses erhöhten Risikos von Aussendungen, die von ICs abgestrahlt werden, ist der Einsatz von Simulationswerkzeugen für die Bewertung des Aussendungsverhaltens jedes Moduls in der IC-Entwurfsphase unerlässlich. Zur Vorhersage des Aussendungsverhaltens von ICs und von dessen Auswirkungen auf benachbarte Schaltungen (Einkopplung in Leiterbahnen, Steckverbinder usw.) werden genaue Modelle für abgestrahlte elektromagnetische Aussendungen benötigt. Eine genaue Bewertung der Aussendungsrisiken ist auf der Leiterplattebene sonst nicht möglich.

Die Integration von äquivalenten Strahlungsquellen der ICs in elektromagnetische 3-D-Solver kann durch unterschiedliche Eingabeverfahren erreicht werden. Dieser Teil von IEC 62433 beschreibt ein mehr allgemeines, austauschbares und validiertes Makromodell für die Simulation des Aussendungsverhaltens auf der IC-Ebene und legt es fest. Bei ICs mit mehreren Betriebsarten, Funktionalitäten, programmierbarer Logik und unterschiedlichen Bedingungen der IC ist das Aussendungsprofil abhängig von der Betriebsart vollkommen verschieden. Folglich gelten ICEM-RE-Makromodelle nur für die Bedingungen, unter denen sie abgeleitet worden sind. Diese Modelle dienen der Vorhersage der abgestrahlten elektromagnetischen Aussendungen auf der Anwendungsebene.

Die Daten des ICEM-RE-Makromodells werden mit dem XML-Format decodierbar und hierarchisch angeordnet. Der Zweck dieses Austauschformats, welches als Auszeichnungssprache zur Beschreibung abgestrahlter Aussendungen (REML) bezeichnet wird, ist die Schaffung eines einfachen und praktisch universellen Zugriffs auf das ICEM-RE-Makromodell. [Anhang A](#) enthält vorläufige Festlegungen für die XML-Darstellung.

5 Beschreibung des ICEM-RE-Makromodells

5.1 Allgemeines

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

- passive Teile (parasitärer Widerstand (R), Induktivität (L) und Kapazität (C) der Leiterbahnen, Komponenten zum Schutz vor elektrostatischen Entladungen (ESD), Anschlussstifte und Bondverbindung), die die äußere Umgebung mit den internen IC-Blöcken verbinden;
- aktive Teile (CPU-Kern, Taktsystem, Speicher, Analogbausteine); diese aktiven internen Blöcke sind die Aussendungsquellen in einer IC.

Das ICEM-RE-Makromodell besteht aus einem Datensatz, der diese beiden Teile beschreibt:

- PDN: Das passive Verteilernetz gibt die geometrische Grundfläche wieder, auf der äquivalente Strahlungsquellen positioniert werden. Es umfasst die geometrischen Koordinaten des Modells.
- IA: Die interne Aktivität (IA) gibt die Erregungsquelle der strahlenden Elemente des PDN wieder. Sie umfasst die Amplitude und die Phase des elektrischen Stroms im Modell.

[Bild 1](#) zeigt die allgemeine Struktur des ICEM-RE-Makromodells.

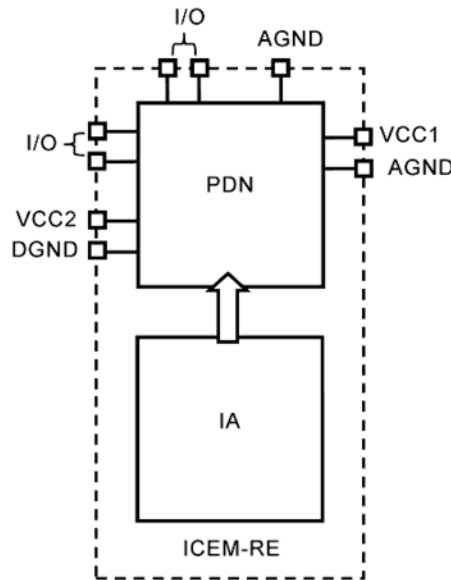


Bild 1 – Allgemeine Struktur des ICEM-RE

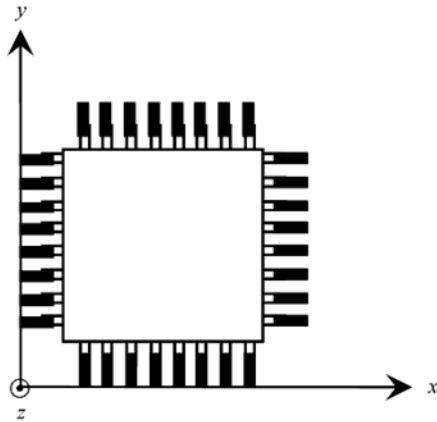
Es besteht eine direkte Verbindung zwischen dem PDN-Block und dem IA-Block. Das PDN stellt eine Menge äquivalenter Strahlungsquellen wie elektrische Dipole oder elektrische Stromschleifen dar, die als geometrische Grundfläche für die IA dienen. Die Quellenkoordinaten werden bezogen auf einen Punkt im Raum festgelegt, der als Referenzpunkt bezeichnet wird. Weitere Einzelheiten zum Referenzpunkt können 5.2 entnommen werden.

Der IA stellt den Stromfluss in jedem der äquivalenten Strahlerelemente im PDN dar. Die Stromstärke ist ein komplexer Wert, d. h., die Ströme durch den Dipol (bzw. die Schleife) werden mit ihrem Betrag und ihrer Phase angegeben. Der Phasenwert bezieht sich auf die Phase des elektromagnetischen Felds am Referenzpunkt. Der Definition nach besitzt jedes Element des PDN einen eigenen IA und sowohl die PDN-Koordinaten als auch die IA-Phasenwerte werden auf den Referenzpunkt bezogen.

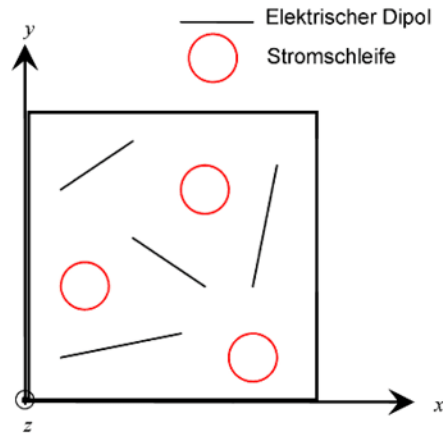
Das ICEM-RE-Makromodell wird generell im Frequenzbereich definiert. Die geltende Frequenz ist nicht grundsätzlich begrenzt, d. h. die ICEM-RE-Struktur ist über einen beliebigen Frequenzbereich gültig. In Abhängigkeit von den für die Herleitung des Modells benutzten Daten wird der für das Modell geltende Grenzwert jedoch durch die Eingabedaten für die Herleitung des Modells bestimmt. Darüber hinaus ist das Modell nur für die Bedingungen definiert, unter denen es hergeleitet worden ist: Betriebsbedingungen der IC, aktivierte Funktionen, die für die Grundfunktionen der IC benötigten externen Komponenten (Entkopplungskondensatoren, externe Oszillatoren usw.). Jede Abweichung von den festgelegten Bedingungen kann eine Modifikation des Modells (erneute Herleitung des Modells) erfordern. Die Einbindung von Änderungen wird in der vorliegenden Ausgabe nicht behandelt.

5.2 Beschreibung des PDN

Das PDN besteht aus passiven Elementen für das Gehäuse, Bondverbindungen und Verbindungen auf dem Chip. Bei einem Durchfluss von Hochfrequenzsignalen (Ströme) und Transienten verhalten sich diese Elemente wie abstrahlende Antennen. Der PDN-Block des ICEM-RE kann mit einer Menge äquivalenter Strahlungsquellen als elektrische Dipole oder Rahmenantennen beschrieben werden, die die verschiedenen Gehäuse-/Bond-/Verbindungselemente darstellen, wie in [Bild 2](#) gezeigt.



a) Zu prüfende IC

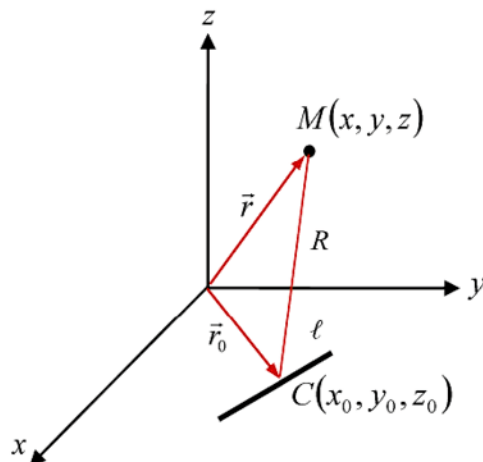


b) Äquivalenter PDN, der mit einer Menge von Elementardipolquellen beschrieben wird

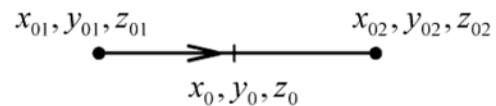
Bild 2 – Geometrische Darstellung des PDN des ICEM-RE

Die Maße der äquivalenten Quellen müssen im Bezug zur Wellenlänge dünn und klein sein (im Normalfall weniger als ein Zehntel der Wellenlänge).

Bild 3 zeigt einen elektrischen Elementardipol im dreidimensionalen Raum, welcher den PDN beschreibt.



a) Elektrischer Elementardipol der Länge ℓ im dreidimensionalen Raum



b) Parameter, die einen elektrischen Dipol des PDN definieren

Bild 3 – Darstellung eines Elementardipols im PDN des ICEM-RE

In Anlehnung an einen elektrischen Dipol zeigt [Bild 4](#) eine elementare Stromschleife.

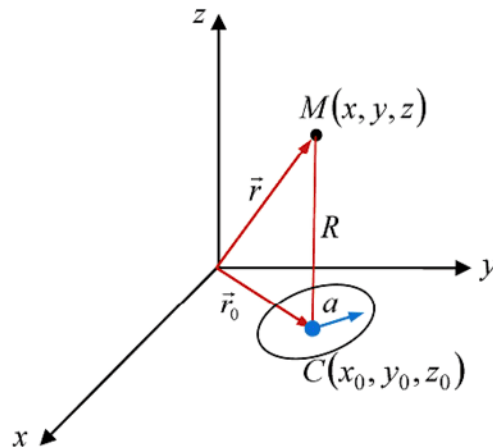


Bild 4 – Elementare Stromschleife mit dem Radius a im dreidimensionalen Raum

Für eine vereinfachte Darstellung der Stromschleife und wegen der Ähnlichkeit mit einem elektrischen Dipol wird das Dualitätstheorem zwischen einer Schleife und einem magnetischen Dipol angewendet. Eine Stromschleife, in der ein elektrischer Strom fließt, kann wie in Bild 5 gezeigt anhand einer „Magnetquelle“ als äquivalentes Gegenstück dargestellt werden, die als magnetischer Dipol bezeichnet wird. Der magnetische Dipol wird so ausgerichtet, dass der Vektor „senkrecht“ zur Stromschleife verläuft.

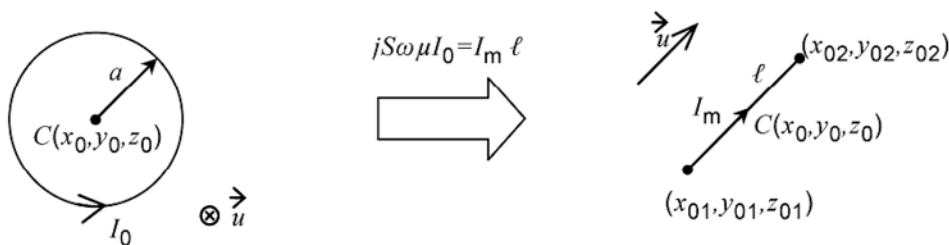


Bild 5 – Dualitätstheorem zwischen einer Stromschleife und einem magnetischen Dipol

In Bild 5 ist S die Oberfläche der Stromschleife ($S=\pi a^2$), μ die magnetische Leitfähigkeit des Mediums, in dem die Stromschleife platziert wird, ω die Winkelfrequenz, I_0 der durch die Stromschleife fließende elektrische Strom, I_m der durch den magnetischen Dipol fließende duale magnetische Strom und ℓ die Länge des dualen magnetischen Dipols.

Mit dieser Dualität besteht nun die Möglichkeit, die Schleife mit Parametern zu beschreiben, die denen eines elektrischen Dipols nach Bild 3 b) sehr ähnlich sind, weil sie der gleichen Topologie folgen.

ANMERKUNG Diese Dualität dient lediglich zur Orientierung bei der Herleitung mathematischer Gleichungen und Lösungen. Sie wird abstrakt verwendet, um die Bewegung magnetischer Ladungen zu erklären, die magnetische Ströme verursachen, wenn ein Vergleich zu ihren dualen Mengen an beweglichen elektrischen Ladungen, die elektrische Ströme verursachen, angestellt wird. Diese Ausdrücke (magnetische Ladungen und magnetische Ströme) sind rein mathematisch, da mittlerweile bekannt ist, dass es in der Natur keine magnetischen Ladungen oder Ströme gibt.

Die Definition des PDN muss alle notwendigen Informationen für die Implementierung des Modells zur Durchführung der Simulation enthalten. Im Allgemeinen müssen die folgenden Hauptmerkmale definiert werden:

- die Geometrie der äquivalenten Strahlungsstruktur (Dipoltyp: "electric" oder "magnetic");
- die Liste mit den Dipolkoordinaten in Werte-Tripeln.

Die Dipolkoordinaten werden bezogen auf den Referenzpunkt im Raum definiert. Bild 6 zeigt ein Beispiel für den Referenzpunkt.

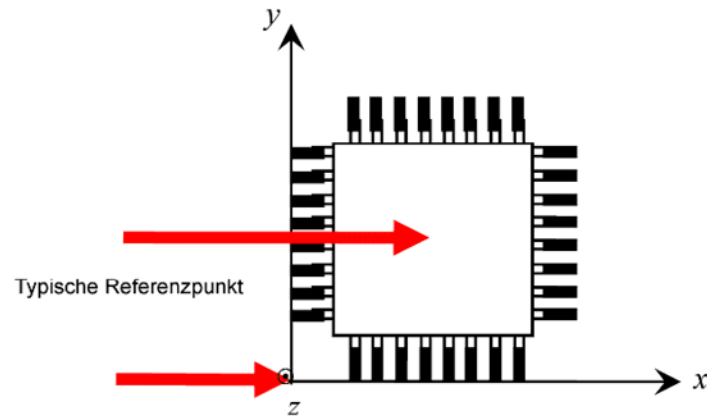


Bild 6 – Beispiel für Referenzpunkte zur Beschreibung der Geometrie

Der Referenzpunkt kann entweder einer der Randpunkte oder der Mittelpunkt der zu prüfenden IC sein. Beispielhafte Referenzpunkte sind die linke untere Ecke oder der Mittelpunkt der IC, wie in Bild 6 dargestellt.

Die Definition des PDN muss die äquivalenten Strahlungsstrukturen im Frequenzbereich mit dem Typ des verwendeten Dipols und den Koordinaten des Dipols beschreiben. Tabelle 1 enthält die Definition des PDN für elektrische und magnetische Dipole.

Tabelle 1 – PDN-Format

PDN-Format
Anfangskoordinaten (x_{01}, y_{01}, z_{01}) und Endkoordinaten (x_{02}, y_{02}, z_{02}) im kartesischen Koordinatensystem
oder
Anfangskoordinaten $(r_{01}, \varphi_{01}, z_{01})$ und Endkoordinaten $(r_{02}, \varphi_{02}, z_{02})$ im Zylinderkoordinatensystem
oder
Anfangskoordinaten $(r_{01}, \theta_{01}, \varphi_{01})$ und Endkoordinaten $(r_{02}, \theta_{02}, \varphi_{02})$ im Kugelkoordinatensystem

Die zu prüfende IC kann für eine bestimmte Frequenz mit einem Vektor oder mit mehreren Vektoren (Dipolen) beschrieben werden. Bei einer gegebenen Frequenz muss jeder Vektor entweder einen elektrischen Dipol oder einen magnetischen Dipol darstellen. Dementsprechend enthält der Vektor eines elektrischen oder eines magnetischen Dipols zwei Parameterdefinitionen, und zwar Anfangskoordinaten (x_{01}, y_{01}, z_{01}) und Endkoordinaten (x_{02}, y_{02}, z_{02}) , wie in Tabelle 1 angegeben. Diese Koordinaten können im kartesischen Koordinatensystem (x, y, z) oder im Zylinderkoordinatensystem (Radius: r , Azimut: φ , Höhe: z) oder im Kugelkoordinatensystem (Radius: r , Höhenwinkel: θ , Azimut: φ) dargestellt werden. Wie in Bild 7 dargestellt, können für eine gegebene Frequenz mehrere Dipoltypen dargestellt werden.

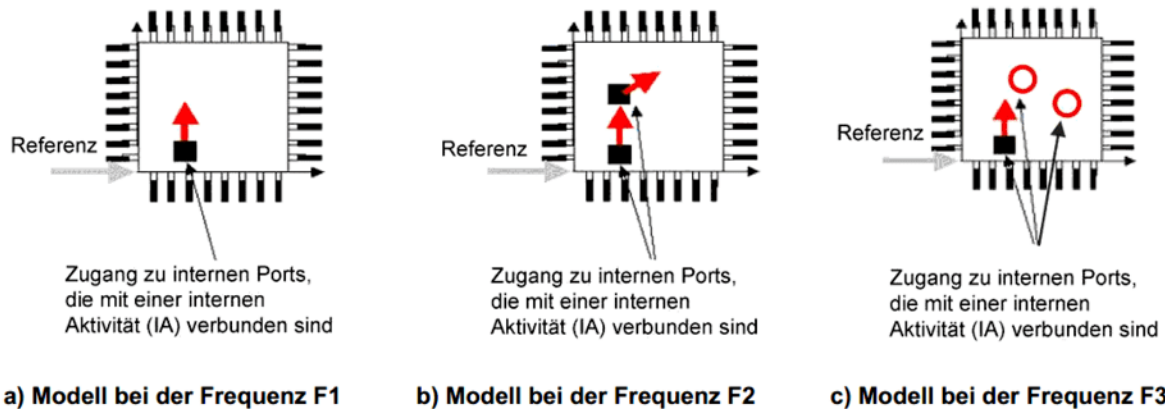


Bild 7 – Definition des PDN bei drei verschiedenen Frequenzen

5.3 Beschreibung der IA

Das IA-Teilmodell besteht in Abhängigkeit von dem für die Definition des Bauelements gewählten PDN aus einer elektrischen (I_e) oder einer magnetischen (I_m) Stromquelle. Es wird davon ausgegangen, dass der Strom im elektrischen oder magnetischen Dipol über die Länge des Dipols konstant ist. Das Teilmodell wird hauptsächlich im Frequenzbereich beschrieben. In einigen Fällen kann die Beschreibung im Zeitbereich erfolgen. Dann kann eine Fourier-Transformation verwendet werden, um im Frequenzbereich zu arbeiten. Die IA wird durch Betrag und Phase beschrieben, die aus Messungen oder Simulationen bei einer bestimmten Frequenz hergeleitet werden. Als Referenzpunkt für die IA dient der Referenzpunkt für die Definition des PDN. Die Phasenkomponente der IA wird auf die Phase der elektromagnetischen Felder am Referenzpunkt bezogen.

5.4 Berechnung und Simulation des elektromagnetischen Felds

Nach der Aufstellung von PDN und IA kann das Modell mit den aus dem magnetischen Vektorpotential $\vec{A}$ abgeleiteten Termen des elektrischen und magnetischen Felds, welches am Punkt M von einem elektrischen Dipol abgestrahlt wird, aufgebaut werden. Somit können die verschiedenen Komponenten ($p = \{x, y, z\}$) der von einem elektrischen Dipol abgestrahlten elektrischen und magnetischen Felder wie folgt angegeben werden:

$$E_{A,p} = f_{1p}(k, x, y, z, x_{01}, y_{01}, z_{01}, x_{02}, y_{02}, z_{02}, I_e, \epsilon)$$

$$H_{A,p} = g_{1p}(k, x, y, z, x_{01}, y_{01}, z_{01}, x_{02}, y_{02}, z_{02}, I_e)$$

Dabei ist

f_1 und g_1	Funktionen, die von folgenden Variablen abhängen:
(x, y, z)	die Koordinaten des Punkts M , an dem das elektromagnetische Feld bewertet wird;
(x_{01}, y_{01}, z_{01})	die Koordinaten des Anfangspunkts des Dipols (Vektors);
(x_{02}, y_{02}, z_{02})	die Koordinaten des Endpunkts des Dipols (Vektors);
k	die Wellenzahl ($k = 2\pi/\lambda$, λ ist die Wellenlänge);
I_e	der Strom durch den elektrischen Dipol, der von (x_{01}, y_{01}, z_{01}) zu (x_{02}, y_{02}, z_{02}) fließt;
ϵ	die Dielektrizitätskonstante des Mediums, in dem Punkt M liegt.

Genauso werden die verschiedenen Komponenten ($p = \{x, y, z\}$) des elektrischen und magnetischen Felds, welches von einem magnetischen Dipol abgestrahlt wird, aus dem elektrischen Vektorpotential $\vec{F}$ abgeleitet und wie folgt berechnet:

$$E_{F,p} = f_{2p}(k, x, y, z, x_{01}, y_{01}, z_{01}, x_{02}, y_{02}, z_{02}, I_m, \varepsilon)$$

$$H_{F,p} = g_{2p}(k, x, y, z, x_{01}, y_{01}, z_{01}, x_{02}, y_{02}, z_{02}, I_m, \mu)$$

Dabei ist

f_2 und g_2	Funktionen, die von folgenden Variablen abhängen:
(x, y, z)	die Koordinaten des Punkts M , an dem das elektromagnetische Feld bewertet wird;
(x_{01}, y_{01}, z_{01})	die Koordinaten des Anfangspunkts des Dipols (Vektors);
(x_{02}, y_{02}, z_{02})	die Koordinaten des Endpunkts des Dipols (Vektors);
k	die Wellenzahl ($k = 2\pi/\lambda$, λ ist die Wellenlänge);
I_m	der magnetische Strom durch den magnetischen Dipol, der von (x_{01}, y_{01}, z_{01}) zu (x_{02}, y_{02}, z_{02}) fließt;
ε	die Dielektrizitätskonstante des Mediums in dem Punkt M liegt.
μ	die magnetische Leitfähigkeit des Mediums in dem Punkt M liegt.

In [Annex B](#) sind die genauen Ausdrücke für die von einem elektrischen oder einem magnetischen Dipol ausgesendeten Felder beschrieben.

6 REML-Format

6.1 Allgemeines

Die Daten des ICEM-RE-Makromodells werden im XML-Format zusammengefasst und als Auszeichnungssprache zur Beschreibung abgestrahlter Aussendungen (REML) bezeichnet. Die Daten des Modells werden in sieben Teile unterteilt:

- Header mit allgemeinen Informationen;
- Beschreibung der Frequenzen, für die das Modell aufgestellt wird;
- Beschreibung des Koordinatensystems, in dem die Einzelheiten angegeben werden;
- Beschreibung des Referenzpunkts in dem festgelegten Koordinatensystem;
- Beschreibung der Gültigkeitsbedingungen für das ICEM-RE;
- Beschreibung der PDN-Daten;
- Beschreibung der IA-Daten.

Jede der Hauptkomponenten, aus denen sich eine REML-Modelldefinition zusammensetzt, besitzt einen bestimmten Datentyp, der direkt oder indirekt aus einem einfachen abstrakten Typ, der als REMLBase bezeichnet wird, abgeleitet wird. In [Bild 8](#) ist die Vererbungshierarchie abgebildet.

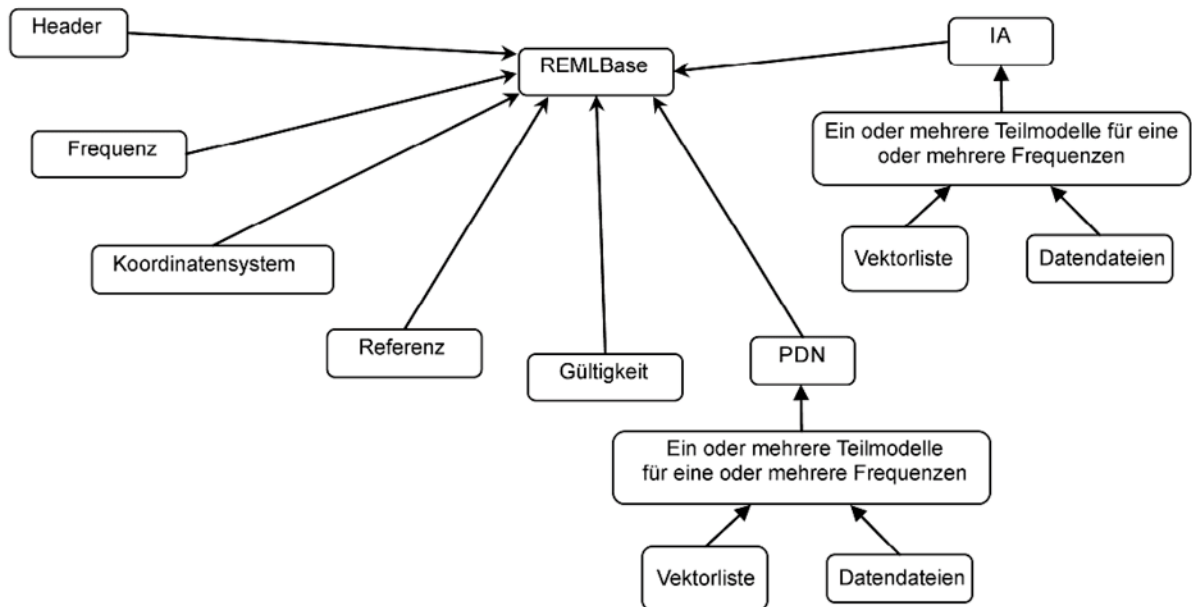


Bild 8 – REML-Vererbungshierarchie

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

```

beginning of model definition
  model header definition
  frequency definition
  coordinate system definition
  reference point definition
  model validity definition
  model PDN
model IA
end of model definition
  
```

Dieses Austauschformat nutzt die erweiterbare Auszeichnungssprache (XML) 1.0 (Fourth Edition) zur Strukturierung der Informationen. XML wurde von der Normierten Verallgemeinerten Auszeichnungssprache (SGML) abgeleitet [1]².

Die in [Annex A](#) erläuterten XML-Codierungsregeln stellen sicher, dass die XML-Datei (REML-Datei) von einem REM-Parser richtig analysiert werden kann. [Annex C](#) enthält ein Beispiel einer REML-Datei, die mit dem Codierungsformat XML übereinstimmt. Die Schlüsselwörter für REML und deren Nutzungsregeln sind ausführlich in [Annex D](#) aufgeführt.

6.2 REML-Struktur

Unter Berücksichtigung aller vorstehend definierten Regeln und entsprechend den Anforderungen an Modellbeschreibungen aus IEC TS 62433-1 stellt sich eine typische ICEM-RE-Makromodelldatei folgendermaßen dar:

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<REmodel>
  <!-- HEADER -->
  <Header>
    ...
  </Header>
  <!-- FREQUENCY DEFINITIONS-->
  
```

² Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

```

<Frequency>
...
</Frequency>
<!-- COORDINATE SYSTEM DEFINITION-->
<Coordinate_system>
...
</Coordinate_system>
<!-- REFERENCE POINT DEFINITION-->
<Reference>
...
</Reference>
<!-- MODEL VALIDITY DEFINITION-->
<Validity>
...
</Validity>
<!-- MODEL PDN DATA -->
<Pdn>
...
</Pdn>
<!-- MODEL IA DATA -->
<Ia>
...
</Ia>
</REmodel>

```

Das REML-Format beruht auf einer XML-Darstellung. Für die REML-Struktur gelten die grundlegenden XML-Codierungsregeln, die in [Annex A](#) angegeben sind. Das Wurzelement der REML-Datei ist *REmodel*. Alle Informationen zum Modell müssen unter dem Wurzelement aufgeführt werden.

Die Abschnitte *Header*, *Frequency*, *Validity*, *Pdn* und *Ia* sind die mindestens und zwingend erforderlichen Informationen für das ICEM-RE-Makromodell. Die Abschnitte *Coordinate_system* und *Reference* sind wahlfrei und wenn sie nicht vorhanden sind, setzt der REM-Parser Standardwerte an.

6.3 Globale Schlüsselwörter

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

6.4 Header-Abschnitt

Die Leser fragen möglicherweise nach Beweggründen für einen unabhängigen Header-Abschnitt. Einfacher wäre es, die Header-Informationen direkt auf der obersten Ebene unter *<REmodel> ... </REmodel>* einzuordnen. Es wurde stattdessen entschieden, sie innerhalb des XML-Elements *<Header>* zusammenzufassen, um die Komponenten besser anzuordnen und das Lesen der Modelldefinitionen zu vereinfachen. Somit wird empfohlen, die Header-Informationen unter dem Tag *Header* zu definieren. Die mindestens erforderlichen Angaben sind die Versionsnummer des Modells, der Dateiname und die Versionsnummer der Datei. Weitere Inhalte des Headers sind nach IEC TS 62433-1 frei wählbar und können folgende Informationen enthalten:

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

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

```
<REmodel>
  <Header>
    <Rem_ver>1.0</Rem_ver>
    <Filename>ExampleICEMRE_file.reml</Filename>
    <File_ver>1.0</File_ver>
    <Author>Valeo 1</Author>
    <Dut>Microcontroller 16bit</Dut>
    <Date>August 1, 2013</Date>
    <Meas_method>Near-field scan</Meas_method>
  </Header>
  ...
</REmodel>
```

Annex D enthält eine ausführliche Liste der gültigen Schlüsselwörter im Abschnitt *Header*.

6.5 Definition der Frequenz

Wie bereits festgestellt, wird das ICEM-RE-Makromodell im Frequenzbereich definiert. Die in das Modell einbezogenen Frequenzglieder und -einheiten werden unter den Tags *Frequency* und *Unit* definiert. Der Tag *Unit* ist ein Kind-Element des Elements *Frequency*.

In diesen Abschnitt muss mindestens eine Frequenz eingetragen werden. Wenn nur ein Frequenzeintrag vorliegt, kann der numerische Wert mit der Einheit zusammen angegeben werden, wie in A.2.5.3 erläutert (siehe Beispiel 1). Die Einheit kann wahlfrei trotzdem unter dem Abschnitt *Unit* angegeben werden, wie in Beispiel 2 beschrieben. Es darf unter einem Abschnitt *Unit* keine Liste mit Definitionen von Einheiten erstellt werden. Ein Element *List* muss verwendet werden, wenn wie in Beispiel 3 gezeigt mehrere Frequenzwerte festgelegt werden sollen.

BEISPIEL 1 Beispiel des Abschnitts *Frequency* mit numerischem Wert und Einheit zusammen in einer Textfolge.

```
<REmodel>
  ...
  <Frequency>100MHz</Frequency>
  ...
</REmodel>
```

BEISPIEL 2 Beispiel des Abschnitts *Frequency* mit einem Abschnitt *Unit*

```
<REmodel>
  ...
  <Frequency>
    <Unit>MHz</Unit>
    100
  </Frequency>
  ...
</REmodel>
```

BEISPIEL 3 Beispiel eines Abschnitts *Frequency* mit einem Abschnitt *Unit* und einem Abschnitt *List* zur Definition mehrerer Frequenzwerte.

```
<REmodel>
  ...
  <Frequency>
    <Unit>MHz</Unit>
    <List>
      100 200 300 400 500
    </List>
  </Frequency>
  ...
</REmodel>
```

6.6 Definition des Koordinatensystems

In diesem Abschnitt wird das Koordinatensystem festgelegt, in dem die PDN-Parameter definiert werden. Wie in 5:2 erläutert, können die Dipolparameter des PDN entweder im kartesischen Koordinatensystem, im Zylinderkoordinatensystem oder im Kugelkoordinatensystem dargestellt werden. Damit sind nur die folgenden Werte (Textfolgen) zur Festlegung dieses Attributs zulässig:

- "Cartesian": Parameter im kartesischen Koordinatensystem (x, y, z)
- "Cylindrical": Parameter im Zylinderkoordinatensystem (radialer Abstand: r , Azimut: φ , Höhe: z)
- "Spherical": Parameter im Kugelkoordinatensystem: (radialer Abstand: r , Höhenwinkel: θ , Azimut: φ)

Dieser Abschnitt hat kein Kind-Element.

Es handelt sich um einen wahlfreien Abschnitt. Wenn er fehlt ist der Standardwert "Cartesian", und dieser wird für das gesamte ICEM-RE-Makromodell benutzt.

BEISPIEL Die folgende Syntax legt die Verwendung des Kugelkoordinatensystems fest.

```
<REmodel>
...
  <Coordinate_system>
    Spherical
  </Coordinate_system>
...
</REmodel>
```

6.7 Definition der Referenzbedingungen

Im Abschnitt *Reference* wird der Referenzpunkt (Koordinaten) für die PDN- und IA-Daten angegeben. Wie in 5:2 erläutert, werden diese Koordinaten als Referenz für die Vektorpunkte des Dipols im PDN und die Phase der durch die Dipole fließenden Ströme im IA benutzt. Die Koordinaten müssen in dem Koordinatensystem festgelegt werden, das im Abschnitt *Coordinate_system* definiert ist. Die Koordinaten müssen immer im dreidimensionalen Raum in einem geordneten Werte-Tripel von Achsen, eingeschlossen in Klammern, durch Kommas getrennt und ohne Leerzeichen angegeben werden.

Die Einheiten der Koordinaten können direkt zusammen mit den Werten jedes Punkts angegeben werden, wie in A.2.5.3 erläutert, oder unter dem globalen Schlüsselwort *Unit* (siehe 6.3).

Bei einer Definition mit Zylinder- oder Kugelkoordinaten wird das Attribut *Unit* nur für den radialen Abstand und die Höhe (Zylindersystem) angewendet. Die zulässige Einheit ist Meter ("m") für den Radius mit allen gültigen und in A.2.5.5 angegebenen Skalierungsfaktoren und Grad für die Winkelparameter.

Dieser Abschnitt ist wahlfrei. Wenn er fehlt, ist der Standardwert "(0,0,0)".

BEISPIEL Ein Beispiels des Abschnitts *Reference* im kartesischen Koordinatensystem ist unten angegeben: 10 mm in Richtung der x-Achse, 6 mm in Richtung der y-Achse und 0 mm in Richtung der z-Achse.

```
<REmodel>
...
  <Coordinate_system>
    Cartesian
  </Coordinate_system>
  <Reference>
    <Unit>mm</Unit>
    (10,6,0)
  </Reference>
...
</REmodel>
```

6.8 Abschnitt mit den Gültigkeitsbedingungen

6.8.1 Allgemeines

Der Abschnitt *Validity* ist zur Wiedergabe der Bedingungen zu verwenden, unter denen das ICEM-RE-Makromodell nach IEC 62433-1 definiert wird. Dieser Abschnitt ist rein informativ für den Anwender und unabhängig von allen anderen Abschnitten in der REML-Datei.

Tabelle 2 führt die verschiedenen anerkannten Schlüsselwörter im Abschnitt *Validity* auf.

Tabelle 2 – Definition des Abschnitts *Validity*

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

Diese Definition ist nicht vollständig und offen für Weiterentwicklungen und Verbesserungen.

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

Weitere spezifische Einzelheiten, die zu den Prüfbedingungen gehören, wie aktivierte Funktionen, Einzelheiten zum Taktsystem, interne Arbeitspunkte usw. müssen mit einer gültigen Zeichenfolge im Abschnitt *Notes* definiert werden. Wenn das Schlüsselwort nicht vorhanden ist, ist der Standardwert "None". Weitere Informationen zur Nutzung des Schlüsselworts *Notes* können [D.4](#) entnommen werden.

Dieser Abschnitt ist verbindlich und wird unmittelbar unter dem Wurzelement *REmodel* definiert.

BEISPIEL Beispiel eines Abschnitts *Validity*

```
<REmodel>
...
<Validity>
  <Power_supply>9V</Power_supply>
  <Frequency_range>40MHz</Frequency_range>
  <Temperature_range>25Celsius</Temperature_range>
  <Notes>Quartz=20MHz, Iin=10mA, PLL unused</Notes>
</Validity>
...
</REmodel>
```

6.8.2 Attributdefinitionen

6.8.2.1 *Power_supply*

Mit dem Attribut *Power_supply* werden die Versorgungsbedingungen definiert, unter denen das ICEM-RE gilt. Dieses Attribut teilt dem Anwender mit, dass das ICEM-RE-Makromodell in dem festgelegten Versorgungsbereich hergeleitet wurde.

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

Es handelt sich um ein verbindliches Feld.

Die Beispiele 1 bis 2 beschreiben das Feld *Power_supply*.

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

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

BEISPIEL 2 Die folgende Syntax legt fest, dass das Modell für eine Versorgungsspannung zwischen 2,5 V und 18 V definiert ist.

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

oder

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

6.8.2.2 *Frequency_range*

Mit dem Attribut *Frequency_range* wird der Frequenzbereich definiert, in dem das ICEM-RE gilt. Dieses Attribut teilt dem Anwender mit, dass das ICEM-RE-Makromodell in dem festgelegten Frequenzbereich hergeleitet wurde und im selben Bereich anwendbar ist. Der gültige Frequenzbereich des ICEM-RE-Makromodells muss der gemeinsame Frequenzbereich von PDN und IA sein.

Für die Definition des Werts für dieses Attribut gibt es kein bestimmtes Format; für eine korrekte Nutzung des Modells muss es leicht verständlich sein. Der Wert dieses Attributs ist eine Datenkette mit einer gültigen Textfolge und/oder numerischen Werten mit Einheiten.

Der Wert dieses Attributs kann sich von dem Wert unterscheiden, der im Abschnitt *Frequency* festgelegt ist, darf aber nicht im Widerspruch zu diesem stehen. Der Abschnitt *Frequency* kann z. B. eine Frequenzliste enthalten, das Attribut *Frequency_range* des Abschnitts *Validity* kann aber einen Einzelwert enthalten, der den gesamten Frequenzbereich festlegt (siehe Beispiel 2). Der Hauptzweck dieses Attributs besteht darin, dem Anwender die Gültigkeit des Modells mitzuteilen, und jeder Widerspruch würde zu Missverständnissen führen.

Es handelt sich um ein verbindliches Feld.

Einige Beispiele für das Feld *Frequency_range* sind in den Beispielen 1 und 2 aufgeführt.

BEISPIEL 1 Die folgende Syntax legt fest, dass das Modell in einem Frequenzbereich zwischen 1 MHz und 1 GHz gültig ist.

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

oder

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

BEISPIEL 2 Ein Beispiel des Abschnitts *Frequency* zur Festlegung mehrerer Frequenzen sowie des Abschnitts *Validity*, in dem der gesamte Frequenzbereich der Gültigkeit des Modells genannt wird.

```
<REmodel>
...
  <Frequency>
    <List>
      10MHz,30MHz,100MHz,300MHz,500MHz,700MHz,900MHz,1100MHz
    </List>
  </Frequency>
  <Validity>
    ...
    <Frequency_range>[10MHz - 1,1GHz]</Frequency_range>
    ...
  </Validity>
  ...
</REmodel>
```

</REmodel>

ANMERKUNG Ein Widerspruch zwischen der Definition von *Frequency_range* im Abschnitt *Validity* und den im Abschnitt *Frequency* festgelegten Frequenzwerten wird die Notation des Modells nicht behindern, da der Abschnitt *Validity* nur zur Information des Anwenders dient. Der REM-Parser nutzt den Abschnitt *Frequency* zur Notation des Modells unabhängig davon, was im Abschnitt *Validity* festgelegt ist.

6.8.2.3 *Temperature_range*

Mit dem Attribut *Temperature_range* wird der Temperaturbereich definiert, in dem das ICEM-RE hergeleitet wurde. Der gültige Temperaturbereich des ICEM-RE-Makromodells muss der gemeinsame Temperaturbereich von PDN und IA sein.

Für die Definition des Werts für dieses Attribut gibt es kein bestimmtes Format; für eine korrekte Nutzung des Modells muss es leicht verständlich sein. Der Wert dieses Attributs ist eine Datenkette mit einer gültigen Textfolge und/oder numerischen Werten mit Einheiten. Gültige Einheiten für die Größe der Temperatur sind Celsius (für °C) und K (für Kelvin).

Es handelt sich um ein verbindliches Feld.

Nachfolgend sind Beispiele angegeben.

BEISPIEL 1 Die folgende Syntax legt fest, dass das Modell in einem Temperaturbereich zwischen 20 °C und 40 °C gültig ist.

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

oder

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

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

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

6.9 PDN

6.9.1 Allgemeines

Der Abschnitt *Pdn* des ICEM-RE-Makromodells enthält die PDN-Daten zur Beschreibung des Modells. Zur Darstellung sowohl von Einzelfrequenz-PDN als auch Mehrfrequenz-PDN müssen die Daten mit dem Schlüsselwort *Pdn* unter dem Tag *Submodel* wie folgt definiert werden.

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

Die Einheit der PDN-Daten kann unter dem Tag *Unit* im Element *Pdn* festgelegt werden. Die zulässige Einheit für das PDN ist Meter ("m") mit allen gültigen Skalierungsfaktoren nach [A.2.5.5](#).

Die einer bestimmten Frequenz zugeordneten PDN-Daten werden im Abschnitt *Submodel* festgelegt. Dort wird auch die Frequenz für jedes *Submodel* definiert. Ein ICEM-RE für eine einzelne Frequenz enthält nur ein einziges *Submodel*-Objekt unter dem Tag *Pdn*. Ein ICEM-RE für mehrere Frequenzen enthält dagegen mehrere *Submodel*-Elemente, die untereinander aufgeführt werden. Die Hierarchie der Struktur kann [Bild 8](#) entnommen werden.

Wenn in einem *Pdn*-Element mehrere *Submodel*-Abschnitte vorhanden sind, prüft der REM-Parser, ob die Gesamtzahl der *Submodel*-Abschnitte mit der Gesamtzahl der Frequenzglieder übereinstimmt, die im Abschnitt *Frequency* vorhanden sind (weitere Informationen können 6.5 entnommen werden).

Der Frequenzbereich des PDN muss im Abschnitt *Validity* unter dem Tag *Frequency_range* festgelegt werden (weitere Informationen können 6.8 entnommen werden).

ANMERKUNG Der für das PDN geltende Frequenzbereich entspricht dem Frequenzbereich für den IA.

Tabelle 3 führt die verschiedenen anerkannten Schlüsselwörter im Abschnitt *Submodel* auf.

Tabelle 3 – Definition des Abschnitts *Submodel* des Elements *Pdn*

<i>Submodel</i>
Frequency_value: Frequenz, für die die Modellparameter definiert sind (für Mehrfrequenz-PDN verbindlich, sonst wahlfrei)
Frequency_unit: definiert die Einheit des Frequenzglieds (wahlfrei)
Vector: Schlüsselwort für die Definition eines einzelnen Dipolvektors (verbindlich)
List: intern definierter PDN-Quellparameter (verbindlich, falls nicht <i>Data_files</i>)
Data_files: in einer externen Datei definierter PDN-Quellparameter (verbindlich, falls nicht List)

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

6.9.2 Attributdefinitionen

6.9.2.1 *Frequency_value* und *Frequency_unit*

Mit dem Attribut *Frequency_value* werden die genauen Festlegungen und die Gültigkeit von *Submodel* definiert. Die in diesem Abschnitt aufgeführten PDN-Vektoren sind für diese Frequenz definiert. Es können auch numerische Werte und Einheiten zusammen angegeben werden, wie in A.2.5.3 beschrieben.

Frequency_unit ist ein wahlfreies Attribut für die Definition der Einheiten des im Attribut *Frequency_value* definierten Frequenzglieds. Ist dieses Feld nicht vorhanden, wird die SI-Standardeinheit ("Hz") benutzt.

Für jedes *Submodel*-Element im Abschnitt *Pdn* baut der REM-Parser eine Datenstruktur auf, indem er den im Feld *Frequency_value* des Elements *Submodel* definierten Wert mit einem der im Abschnitt *Frequency* definierten Werte verknüpft. Wird keine Übereinstimmung gefunden, wird das bestimmte Element *Submodel* vom REM-Parser nicht übernommen.

6.9.2.2 *Vector*

Jeder Dipol, der die PDN-Daten definiert, wird unter einem Tag *Vector* im festgelegten Koordinatensystem (siehe 6.6) bezogen auf den im Abschnitt *Reference* (siehe 6.7) angegebenen Referenzpunkt definiert.

Wenn das PDN des ICEM-RE nur ein *Vector*-Element enthält, wird der entsprechende *Vector* bei einer bestimmten Frequenz direkt unter dem Abschnitt *Submodel* definiert.

Wenn das PDN bei einer bestimmten Frequenz mit mehreren Dipolvektoren definiert wird, werden die verschiedenen *Vector*-Elemente unter einem *Submodel*-Abschnitt mit einem Schlüsselwort *List* aufgeführt. Tabelle 4 führt die verschiedenen bekannten Felder des Schlüsselworts *Vector* im Abschnitt *Pdn* auf:

Tabelle 4 – Definition des Schlüsselworts *Vector* im Abschnitt *Pdn*

Vector
Type: Typ der Dipolquelle: "Electric", "Magnetic" (verbindlich) Name: Name des Dipols, der das PDN beschreibt – jede gültige Zeichenfolge; benutzt einen gemeinsamen Namensraum mit dem IA-Vektorelement (verbindlich) Start: Anfangskoordinaten des Dipols: " (x_{01}, y_{01}, z_{01}) " oder " $(r_{01}, \theta_{01}, \phi_{01})$ " oder " $(r_{01}, \phi_{01}, z_{01})$ " (verbindlich) End: Endkoordinaten des Dipols " (x_{02}, y_{02}, z_{02}) " oder " $(r_{02}, \theta_{02}, \phi_{02})$ " oder " $(r_{02}, \phi_{02}, z_{02})$ " (verbindlich)

Das Attribut *Type* teilt dem REM-Parser mit, welcher Typ eines Dipols benutzt wird. Der Dipoltyp kann entweder "Electric" oder "Magnetic" zur Bezeichnung eines elektrischen bzw. eines magnetischen Dipols sein. Es handelt sich um ein verbindliches Feld. Wenn es nicht definiert ist, decodiert der REM-Parser die Informationen des jeweiligen Vektors nicht.

Das Feld *Name* legt einen gültigen Namen des Dipols fest. Dieses Feld ist ein verbindliches Feld und teilt sich den gleichen Namensraum mit den IA-Daten nach der Beschreibung in 6.10. Ein Dipolvektor mit einem spezifischen Namen im Abschnitt *Pdn* muss im Abschnitt *Ia* sein Gegenstück finden. Es muss sich um eine gültige Zeichenfolge mit alphanumerischen Zeichen handeln. Wenn es nicht definiert ist, liest der REM-Parser die Informationen des jeweiligen Vektors nicht.

Mit den Attributen *Start* und *End* werden die Anfangs- bzw. die Endkoordinaten des Dipols definiert. Die Koordinaten müssen in dem Koordinatensystem angegeben werden, das unter dem Tag *Coordinate_system* definiert ist. Die Koordinaten müssen immer im dreidimensionalen Raum in einem geordneten Werte-Tripel von Achsen, eingeschlossen in Klammern, durch Kommas getrennt und ohne Leerzeichen angegeben werden. Diese beiden Felder sind verbindlich. Wenn eines der Attribute leer oder nicht definiert ist, ist das Element *Vector* ungültig. Die Koordinaten dürfen lokale Einheiten besitzen oder nicht, die gemeinsam mit dem numerischen Wert definiert werden. Wenn Einheiten verwendet werden, werden diese vorrangig benutzt.

6.9.2.3 List

Das Attribut *List* teilt dem REM-Parser mit, dass die PDN-Information des ICEM-RE intern definiert wird und aus mehreren Dipolvektoren zusammengesetzt ist. Zur Definition der PDN-Information unter dem Schlüsselwort *Vector* (siehe 6.9.2.2) werden die Dipole, die das PDN des ICEM-RE bilden, nacheinander mit dem Element *List* aufgeführt. Eine ausführliche Darstellung der Nutzung von *List* unter dem Tag *Pdn* erfolgt in 6.9.3.2.

6.9.2.4 Data-files

Das Attribut *Data_files* teilt dem REM-Parser mit, dass die PDN-Information in einer externen Datendatei verfügbar ist. Wenn es verwendet wird, werden die Felder "Type", "Name", "Start" und "Stop" in der externen Datei festgelegt. Sämtliche Header-Informationen, die als Kommentarzeilen zur Datenbeschreibung gehören, sollten mit einem Ausrufezeichen ("!") als erstes Zeichen der Zeile beginnen. Eine ausführliche Beschreibung der Nutzung von *Data_files* unter dem Tag *Pdn* erfolgt in 6.9.3.3.

6.9.3 PDN eines ICEM-RE für eine einzelne Frequenz

6.9.3.1 Allgemeines

Dies ist die einfachste Form der PDN-Darstellung. Die aus mehreren Dipolvektoren bestehenden PDN-Daten müssen im Abschnitt *Submodel* unter dem Schlüsselwort *List* aufgeführt werden. Wenn die PDN-Daten nur einen Dipolvektor enthalten, kann dieser direkt im Abschnitt *Submodel* festgelegt werden. Tabelle 5 führt die verschiedenen Attribute des Abschnitts *Submodel* des *Pdn* zusammen mit ihrer Nutzung für ein ICEM-RE-Makromodell für eine einzelne Frequenz auf.