

## Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort .....	2
1 Anwendungsbereich .....	9
2 Normative Verweisungen .....	9
3 Begriffe, Abkürzungen und Vereinbarungen .....	9
3.1 Begriffe .....	9
3.2 Abkürzungen .....	11
3.3 Vereinbarungen .....	11
4 Grundprinzipien .....	11
4.1 Allgemeines .....	11
4.2 Leitungsgeführte Aussendungen durch Kernaktivitäten (digitaler Verursacher) .....	12
4.3 Leitungsgeführte Aussendungen durch Ein-/Ausgangsaktivitäten (I/O) .....	12
4.4 Datenaustauschformat .....	12
5 Grundkomponenten des ICEM-CE .....	13
5.1 Allgemeines .....	13
5.2 Interne Aktivität (IA) .....	13
5.2.1 Allgemeines .....	13
5.2.2 Beispiele zur IA .....	14
5.3 Passives Verteilernetz (PDN) .....	14
5.3.1 Allgemeines .....	14
5.3.2 Beispiele von PDN .....	15
6 IC-Makromodelle .....	16
6.1 Makromodellarten .....	16
6.2 Allgemeines IC-Makromodell .....	16
6.3 Blockbezogenes IC-Makromodell .....	17
6.3.1 Blockkomponente .....	17
6.3.2 Komponenten der Kopplung zwischen Blöcken (IBC) .....	19
6.3.3 Struktur des blockbezogenen IC-Makromodells .....	20
6.4 Teilmodellbezogenes IC-Makromodell .....	21
6.4.1 Komponente des Teilmodells .....	21
6.4.2 Struktur des teilmodellbezogenen IC-Makromodells .....	22
7 CEML-Format .....	23
7.1 Allgemeines .....	23
7.2 CEML-Struktur .....	24
7.3 Globale Schlüsselwörter .....	25
7.4 Header-Abschnitt .....	25
7.5 Definition der Anschlussleitungen .....	26
7.6 SPICE-Makromodelle .....	27

	Seite
7.7 Abschnitt mit den Gültigkeitsbedingungen .....	29
7.7.1 Allgemeines .....	29
7.7.2 Attributdefinitionen.....	30
7.8 PDN .....	32
7.8.1 Allgemeines .....	32
7.8.2 Attributdefinitionen.....	33
7.8.3 Beschreibung.....	37
7.9 IBC.....	42
7.9.1 Allgemeines .....	42
7.9.2 Attributdefinitionen.....	42
7.10 IA .....	43
7.10.1 Allgemeines .....	43
7.10.2 Attributdefinitionen.....	44
7.10.3 Beschreibung.....	48
8 Anforderungen an die Parameterermittlung .....	49
8.1 Allgemeines .....	49
8.2 Randbedingungen für die Herleitung der Umweltbedingungen .....	49
8.3 Ermittlung der IA-Parameter.....	49
8.4 Ermittlung der PDN-Parameter .....	50
8.5 Ermittlung der IBC-Parameter .....	50
Anhang A (normativ) Vorläufige Definitionen für die XML-Darstellung .....	51
A.1 XML-Grundlagen .....	51
A.1.1 XML-Vereinbarung .....	51
A.1.2 Grundelemente.....	51
A.1.3 Wurzelement.....	51
A.1.4 Kommentare .....	52
A.1.5 Zeilenabschluss.....	52
A.1.6 Hierarchie der Elemente.....	52
A.1.7 Attribute der Elemente.....	52
A.2 Anforderungen an Schlüsselwörter .....	52
A.2.1 Allgemeines .....	52
A.2.2 Zeichen in Schlüsselwörtern .....	53
A.2.3 Syntax von Schlüsselwörtern .....	53
A.2.4 Dateistruktur .....	53
A.2.5 Werte .....	55
Anhang B (normativ) Gültige Schlüsselwörter für CEML und deren Nutzung.....	58
B.1 Schlüsselwörter für <i>Root element</i> .....	58
B.2 Schlüsselwörter für den Datei-Header .....	59
B.3 Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Validity</i> .....	60

	Seite
B.4 Globale Schlüsselwörter .....	61
B.5 Schlüsselwort <i>Lead</i> .....	61
B.6 Attribute für den Abschnitt <i>Lead_definitons</i> .....	62
B.7 Attribute für den Abschnitt <i>Macromodels</i> .....	62
B.8 Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Pdn</i> .....	63
B.8.1 Schlüsselwörter für das Element <i>Lead</i> .....	63
B.8.2 Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Netlist</i> .....	65
B.9 Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Ibc</i> .....	66
B.9.1 Schlüsselwörter für das Element <i>Lead</i> .....	66
B.9.2 Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Netlist</i> .....	68
B.10 Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Ia</i> .....	68
B.10.1 Schlüsselwörter für das Element <i>Lead</i> .....	68
B.10.2 Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Voltage</i> .....	69
B.10.3 Schlüsselwörter für den Abschnitt <i>Current</i> .....	71
Anhang C (informativ) Beispiel für ein ICEM-CE-Makromodell im CEML-Format.....	74
C.1 Allgemeines.....	74
C.2 PDN- und IBC-Teilmodell.....	74
C.3 IA-Teilmodell .....	75
C.4 ICEM-CE-Frequenzbereich in CEML.....	77
C.5 ICEM-CE-Zeitbereich in CEML .....	79
Anhang D (informativ) Umrechnungen zwischen Parametertypen .....	82
D.1 Allgemeines.....	82
D.2 Umrechnung für ein massebezogenes PDN.....	82
D.3 Umrechnung für ein 2-Port-PDN.....	82
Anhang E (informativ) Erzeugung der Modellparameter .....	84
E.1 Allgemeines.....	84
E.2 Standardstruktur und Standardwerte .....	84
E.2.1 Allgemeines.....	84
E.2.2 IA-Parameter .....	84
E.2.3 PDN-Parameter.....	85
E.3 Erzeugung der Modellparameter aus den Entwurfs-Informationen .....	86
E.3.1 Allgemeines.....	86
E.3.2 IA-Parameter .....	86
E.3.3 PDN-Parameter.....	90
E.4 Erzeugung der Modellparameter durch Messungen.....	93
E.4.1 IA-Parameter .....	93
E.4.2 PDN-Parameter.....	96
Anhang F (informativ) Optimierung von Entkopplungskondensatoren .....	106
Anhang G (informativ) Vorhersage leitungsgeführter Aussendungen .....	108

	Seite
Anhang H (informativ) Vorhersage leitungsgeführter Aussendungen auf Leiterplattenebene .....	109
Literaturhinweise .....	111
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen .....	112
<b>Bilder</b>	
Bild 1 – Beispiel der Zerlegung einer digitalen IC für die Analyse leitungsgeführter Aussendungen .....	12
Bild 2 – IA-Komponente im Fall einer Stromquelle .....	13
Bild 3 – Beispiel von IA-Kennwerten im Zeitbereich .....	14
Bild 4 – Beispiel von IA-Kennwerten im Frequenzbereich .....	14
Bild 5 – Beispiel eines PDN mit vier Anschlüssen und konzentrierten Elementen .....	15
Bild 6 – Beispiel eines PDN mit sieben Anschlüssen und verteilten Elementen .....	16
Bild 7 – Beispiel eines PDN mit zwölf Anschlüssen unter Anwendung der Matrixdarstellung .....	16
Bild 8 – Allgemeines IC-Makromodell .....	17
Bild 9 – Beispiel einer Blockkomponente mit einzelner IA .....	18
Bild 10 – Beispiel von Blockkomponenten für I/Os mit mehreren IAs .....	18
Bild 11 – Beispiel einer IBC mit vier internen Anschlüssen .....	19
Bild 12 – Verknüpfung zwischen Blöcken und IBC .....	19
Bild 13 – Blockbezogenes IC-Makromodell .....	20
Bild 14 – Beispiel des blockbezogenen IC-Makromodells .....	21
Bild 15 – Beispiel eines einfachen Teilmodells .....	22
Bild 16 – Teilmodellbezogenes IC-Makromodell .....	23
Bild 17 – CEML-Vererbungshierarchie .....	24
Bild 18 – Beispiel für eine Netzlistendatei zur Definition eines Teilstromkreises .....	29
Bild 19 – PDN-Darstellung als S-Parameter im Touchstone-Format .....	40
Bild 20 – Simulierte IA-Wellenform mit zugehörigen Parametern .....	47
Bild A.1 – Mehrere XML-Dateien (CEML-Dateien) .....	54
Bild A.2 – XML-Dateien mit Datendateien (*.dat) .....	54
Bild A.3 – XML-Dateien mit zusätzlichen Dateien .....	55
Bild C.1 – Beispiel der Anschlussbelegung eines Mikrocontrollers mit modellierten Anschlussstiften .....	74
Bild C.2 – Topologie des PDN-Teilmodells .....	75
Bild C.3 – Topologie des IA-Teilmodells .....	76
Bild C.4 – IA des digitalen Blocks im Frequenzbereich .....	76
Bild C.5 – IA des digitalen Blocks im Zeitbereich .....	77
Bild E.1 – Schaltbild zur Ermittlung des typischen Gatestroms .....	87
Bild E.2 – Stromspitze bei einem Schaltübergang .....	87
Bild E.3 – Beispiel der IA-Ermittlung aus dem Entwurf .....	88
Bild E.4 – Einfluss der Technologie .....	88
Bild E.5 – Endgültige Stromschwingungsform für eine Programmperiode .....	89
Bild E.6 – Vergleich zwischen Messung und Simulation .....	89

	Seite
Bild E.7 – Beispiel für ein Modell eines Gehäuses mit konzentrierten Elementen.....	91
Bild E.8 – Schaltstruktur der Netzliste .....	93
Bild E.9 – Prinzip der IA-Berechnung im Frequenzbereich.....	94
Bild E.10 – Verfahren zur Modellierung von $i_A(t)$ .....	94
Bild E.11 – Messung von $i_{Ext}(t)$ nach IEC 61967-4 .....	95
Bild E.12 – Verlauf von $i_A(t)$ und $i_{Ext}(t)$ .....	95
Bild E.13 – Übliches 1-Port-Verfahren zur S-Parameter-Messung .....	96
Bild E.14 – 2-Port-Verfahren für die niederohmige Messung.....	96
Bild E.15 – 2-Port-Verfahren für die hochohmige Messung.....	97
Bild E.16 – Beispiel eines Hardwareaufbaus zur Ermittlung der PDN-Parameter .....	98
Bild E.17 – 50-Ω-Miniaturkoaxialsteckverbinder .....	98
Bild E.18 – Impedanzsonde mittels zweier Miniaturkoaxialsteckverbinder .....	99
Bild E.19 – Anschlüsse, im Leerlauf und im Kurzschluss .....	99
Bild E.20 – Modell der Messsonde .....	99
Bild E.21 – Ausschlussverfahren.....	100
Bild E.22 – Beispiel einer vordefinierten PDN-Struktur .....	101
Bild E.23 – RL-Konfiguration .....	102
Bild E.24 – RLC-Konfiguration .....	102
Bild E.25 – RLC-Konfiguration mit magnetischer Kopplung.....	103
Bild E.26 – Impedanz von Vcc und Gnd.....	103
Bild E.27 – Vollständige PDN-Komponente .....	104
Bild E.28 – Messaufbau für Korrelation (links), Messung und Vorhersagemodell (rechts).....	104
Bild E.29 – Messaufbau zur Messung des internen Entkopplungskondensators .....	105
Bild F.1 – Ersatzschaltbild des vollständigen elektronischen Systems.....	106
Bild F.2 – Vorhersage und Messungen der Impedanz.....	107
Bild G.1 – Normierter Prüfaufbau nach IEC 61967-4 .....	108
Bild G.2 – Vergleich von Vorhersage und Messung .....	108
Bild H.1 – Vorhersage des ETVddc-Rauschpegels auf Leiterplattenebene .....	109
Bild H.2 – Gute Übereinstimmung mit der Rauschhüllkurve .....	110
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 1 – Attribute des Schlüsselworts <i>Lead</i> im Abschnitt <i>Lead_definitions</i> .....	26
Tabelle 2 – Kompatibilität zwischen den Feldern Mode und Type für eine korrekte CEML-Notation.....	27
Tabelle 3 – Definition von <i>Subckt</i> .....	27
Tabelle 4 – Definition des Abschnitts <i>Validity</i> .....	29
Tabelle 5 – Definition des Schlüsselworts <i>Lead</i> für den Abschnitt <i>Pdn</i> .....	33
Tabelle 6 – Gültige Datenformate und ihre Standardeinheiten im Abschnitt <i>Pdn</i> .....	36
Tabelle 7 – Gültige Dateierweiterungen im Abschnitt <i>Pdn</i> .....	36
Tabelle 8 – Gültige Felder des Schlüsselworts <i>Lead</i> im Abschnitt <i>Pdn</i> .....	37

	Seite
Tabelle 9 – Definition von <i>Netlist</i> .....	41
Tabelle 10 – Unterschiede zwischen den Feldern im Abschnitt <i>Pdn</i> und <i>Ibc</i> .....	42
Tabelle 11 – Gültige Felder des Schlüsselworts <i>Lead</i> für die Definition des <i>IBC</i> .....	43
Tabelle 12 – Definition des Schlüsselworts <i>Lead</i> im Abschnitt <i>Ia</i> .....	44
Tabelle 13 – Definition von <i>Voltage</i> und <i>Current</i> .....	45
Tabelle 14 – Gültige Dateierweiterungen im Abschnitt <i>Ia</i> .....	45
Tabelle 15 – Definition des Schlüsselworts <i>Pulse</i> im Abschnitt <i>Voltage</i> oder <i>Current</i> .....	46
Tabelle 16 – Basiseinheiten der Felder im Abschnitt <i>Pulse</i> .....	46
Tabelle 17 – Gültige Datenformate und ihre Standardeinheiten für die Elemente <i>Voltage</i> und <i>Current</i> .....	48
Tabelle A.1 – Gültige logarithmische Einheiten .....	56
Tabelle D.1 – Umrechnung für ein massebezogenes PDN.....	82
Tabelle D.2 – Umrechnung für ein 2-Port-PDN .....	83
Tabelle E.1 – Typische Parameter für die Technologien der CMOS-Logik.....	85
Tabelle E.2 – Typische Anzahl an Logikgattern in Abhängigkeit von der CPU-Technologie.....	85
Tabelle E.3 – Parameter R, L und C für die verschiedenen Gehäusetypen .....	86
Tabelle E.4 – Messkonfigurationen und ermittelte RLC-Parameter .....	101