

Table des matières

La série <i>Gestion de l'énergie dans les systèmes embarqués</i>	9
Préface	11
Philippe PERDU	
Avant-propos	13
Introduction	17
Chapitre 1. Les normes ESD : du composant au système	27
1.1. Normes : du composant au système	27
1.1.1. Une électronique de plus en plus sensible.	27
1.1.2. Les exigences de robustesse des systèmes embarqués	28
1.2. Normes au niveau composant : HBM, MM, CDM, HMM	29
1.3. Normes au niveau système.	33
1.3.1. La norme IEC 61000-4-2 ou pistolet ESD	34
1.3.2. Problèmes liés à la norme IEC 61000-4-2	39
1.3.3. Modèle HMM (<i>human metal model</i>)	40
1.3.4. Modèle standard ISO 10605.	42
1.3.5. Modèle CDE (<i>cable discharge event</i>)	43
1.4. Conclusion	44
Chapitre 2. Techniques de caractérisation	47
2.1. Techniques de caractérisation électrique au niveau composant	48
2.1.1. La mesure TLP/VF-TLP.	49

2.1.2. Extraction de paramètres transitoires grâce au TLP (<i>transient-TLP</i>)	51
2.1.3. Adaptation du TLP pour la réflectométrie	53
2.1.3.1. Principe de la mesure par réflectométrie	53
2.1.3.2. Application de la méthode TDR aux événements ESD	59
2.1.3.3. Mise en œuvre de l’outil TDR/TLP	61
2.2. Méthodes de mesure système	64
2.2.1. Mesure de tensions par sonde	64
2.2.2. Mesure des courants de masse par une méthode $1\ \Omega$	65
2.2.3. Mesure des courants par champ magnétique induit	67
2.2.3.1. Couplage magnétique : théorie	67
2.2.3.2. Reconstitution du courant	72
2.2.3.3. Expérimentation et validation	75
2.2.3.4. Mesure des courants grâce aux sondes magnétiques de champ proche	75
2.2.3.5. Cartographie dynamique des circulations de courant	78
2.3. Méthodes d’injection	80
2.3.1. Injection en mode conduit : méthode DPI	81
2.3.2. Injection par champ proche	82
2.4. Techniques d’analyse de défaillance	84
2.4.1. Microscopie à émission de lumière statique (EMMI)	84
2.4.2. Microscopie à émission de lumière dynamique (PICA)	85
2.4.3. Techniques de stimulation laser	87
2.4.3.1. Stimulation thermique laser (STL)	88
2.4.3.2. Stimulation photoélectrique laser (SPL)	89
2.4.4. Détection de défauts latents par mesures de bruit à basses fréquences	91
2.5. Conclusion	94

Chapitre 3. Stratégies de protection vis-à-vis des ESD 95

3.1. Fenêtre de conception ESD	95
3.2. Composants élémentaires de protection	100
3.2.1. Stratégies de protection	100
3.2.2. Structures élémentaires de protection	104
3.2.2.1. Diodes	105
3.2.2.2. Transistors bipolaires	106
3.2.2.3. Transistors MOS	111
3.2.2.4. Thyristors	119
3.2.2.5. Protection ESD de technologies mixtes	123

3.3. Protections discrètes	125
3.4. Défis de la stratégie de protection au niveau système	127
3.5. Conclusion	133

Chapitre 4. Méthodologies de modélisation et de simulation 135

4.1. Simulation physique : approche TCAD pour l'optimisation de protections élémentaires	135
4.1.1. Description de la structure	137
4.1.2. Étalonnage du simulateur	139
4.1.3. Phénomènes de focalisation	143
4.1.4. Prédiction de la robustesse	143
4.1.4.1. Focalisation sur un doigt	146
4.1.4.2. Focalisation sur une zone du doigt	147
4.1.5. Apport de la modélisation 3D	149
4.2. Simulation électrique : modélisation compacte	150
4.2.1. Modélisation des diodes	151
4.2.2. Modélisation du transistor bipolaire	152
4.2.2.1. Caractéristique statique	152
4.2.2.2. Comportement dynamique	157
4.2.2.3. Extraction des paramètres du modèle	158
4.2.3. Modélisation du transistor MOS	159
4.2.4. Modélisation du thyristor	164
4.3. Simulation comportementale pour la prédiction au niveau système	166
4.3.1. Les modèles IBIS : intérêt et limitation	168
4.3.1.1. Importance des éléments de boîtier et des éléments passifs internes	169
4.3.1.2. Rôle des diodes délivrées par IBIS	172
4.3.1.3. Rôle des buffers de sortie délivrés par IBIS	174
4.3.1.4. Conclusion sur les fichiers IBIS : amélioration	177
4.3.2. Mise en œuvre d'un réseau d'alimentation	178
4.3.3. Extraction de paramètres à partir de mesures	179
4.3.3.1. Approche par la modélisation compacte	179
4.3.3.2. Approche par la modélisation comportementale	181
4.3.3.3. Méthodologie de modélisation comportementale	182
4.3.3.4. Mise en œuvre d'une structure à retournement	183
4.3.4. Application à la modélisation des systèmes	186
4.3.5. Validation des modèles comportementaux pour l'approche système	188
4.3.5.1. Analyse quasi statique	188
4.3.5.2. Simulations transitoires	190
4.3.5.3. Performance en termes de temps de calcul	193

4.3.6. Ajout de critères de défaillance	195
4.3.6.1. Défaillance matérielle	195
4.3.6.2. Défaillance fonctionnelle	197
4.4. Conclusion	198
Chapitre 5. Études de cas	199
5.1. Cas n° 1 : interaction entre deux types de protection	199
5.2. Cas n° 2 : détection de défauts latents engendrés par stress CDM.	204
5.3. Cas n° 3 : impact d’une capacité de découplage sur les chemins de propagation dans un circuit	212
5.3.1. Analyse de la configuration de test n° 1	214
5.3.2. Validation des résultats par la mesure de cartographie par champ proche	220
5.3.3. Analyse de la configuration de test n° 2	222
5.4. Cas n° 4 : défaillance fonctionnelle liée à la capacité de découplage.	225
5.5. Cas n° 5 : défaillance fatale dans un circuit LIN	232
5.6. Cas n° 6 : défaillance fonctionnelle dans un microcontrôleur 16 bits	239
5.6.1. Description du circuit microcontrôleur 16 bits étudié et des conditions de test	240
5.6.2. Résultats de mesure.	242
5.6.3. Modélisation et simulation de l’étude	246
5.7. Conclusion	249
Conclusion	251
Bibliographie	259
Index	277