

Table des matières

Avant-propos	15
Chapitre 1. Les transistors MOS de puissance (MOSFET)	17
Jean-Michel LI et Pierre ALOISI	
1.1. Introduction	21
1.2. Technologies des MOSFET de puissance	25
1.2.1. Aperçu technologique	25
1.2.2. Principaux paramètres physiques et structuraux	27
1.2.2.1. Structure verticale	27
1.2.2.2. Choix technologiques de la partie supérieure	29
1.2.2.3. Tenue en tension statique drain-source V_{DSS}	35
1.2.3. Tenue en courant permanent	42
1.3. Mécanisme de fonctionnement	44
1.3.1. Principe de base	44
1.3.2. Injecteur d'électrons « canal N »	45
1.3.3. Fonctionnement statique	47
1.3.4. Fonctionnement dynamique	51
1.4. Principales courbes caractéristiques des MOSFET	55
1.5. Etude d'un cycle de commutation sur charge inductive	57
1.5.1. Etude de la fermeture	57
1.5.1.1. Temps de délai à la fermeture $t_{d(on)}$	57
1.5.1.2. Temps de montée en courant $t_{r(on)}$	58
1.5.1.3. Temps de décroissance en tension $t_{V(on)}$	59
1.5.2. Etude de l'ouverture	60
1.5.2.1. Temps de délai à l'ouverture $t_{d(off)}$	60
1.5.2.2. Temps de montée en tension $t_{V(off)}$	61
1.5.2.3. Temps de décroissance en courant $t_{f(off)}$	61

1.6. Effets de la température sur le comportement des MOSFET	66
1.7. Fonctionnement en régime de surcontraintes	66
1.7.1. Surtension sur la grille	68
1.7.2. Surcharge en courant	68
1.7.3. Tenue en avalanche	69
1.7.4. Utilisation de la diode interne	71
1.7.5. Aires de sécurité en fonctionnement	73
1.8. Avenir des MOSFET de puissance	74
1.9. Bibliographie	76
Chapitre 2. Les transistors bipolaires à grille isolée (IGBT)	81
Jean-Michel LI et Pierre ALOISI	
2.1. Introduction	81
2.2. Technologie des IGBT.	82
2.2.1. Aperçus structurels et technologiques	82
2.2.2. Tenues en tension statique et en courant permanent	85
2.3. Mécanisme de fonctionnement.	87
2.3.1. Principe de base	87
2.3.2. Fonctionnement statique	89
2.3.3. Fonctionnement dynamique	95
2.4. Principales courbes caractéristiques des IGBT	97
2.5. Etude d'un cycle de commutation sur charge inductive	99
2.5.1. Etude de la fermeture	100
2.5.2. Etude de l'ouverture	102
2.6. Etude des commutations douces	110
2.6.1. Commutation douce à la fermeture ZVS (<i>Zero Voltage Switching</i>)	110
2.6.2. Commutation douce à l'ouverture ZCS (<i>Zero Current Switching</i>)	111
2.7. Comportement en température	117
2.8. Fonctionnement en régime de surcontraintes	120
2.8.1. Surtensions	120
2.8.2. Surintensités	120
2.8.3. Aires de sécurité de fonctionnement spécifiées par fabricants	132
2.9. Perspectives des IGBT.	134
2.9.1. Evolution du silicium de base.	134
2.9.2. Amélioration de la tension de saturation.	136
2.10. Commande et protection des MOSFET et des IGBT	138
2.10.1. Dimensionnement de la commande grille	138
2.10.2. Circuits de commande de la grille	140
2.10.3. Protections des MOSFET et des IGBT	148
2.11. Bibliographie.	149

Chapitre 3. Associations série ou parallèle des MOS et IGBT	153
Daniel CHATROUX, Dominique LAFORE, Jean-Luc SCHANEN	
3.1. Introduction	153
3.2. Les différentes associations	154
3.3. Mise en série, mise en parallèle	155
3.3.1. Analyse et caractéristiques de base pour l'étude des associations.	155
3.3.1.1. Association parallèle	156
3.3.1.2. Association série.	156
3.3.2. Régime statique	157
3.3.2.1. Mise en parallèle	157
3.3.2.2. Mise en série	158
3.3.3. Régime dynamique : la commutation.	159
3.3.3.1. Mécanismes de fermeture	160
3.3.3.2. Mécanismes d'ouverture	162
3.3.3.3. Synthèse.	165
3.3.4. Régime transitoire	166
3.3.5. Paramètres technologiques influant sur les déséquilibres	168
3.3.5.1. Composant	168
3.3.5.2. Circuit de commande	169
3.3.5.3. Circuit de puissance.	169
3.4. Solutions de mise en œuvre	169
3.4.1. Association parallèle	169
3.4.1.1. Critères de sélection des composants constitutifs	169
3.4.1.2. Commande de grille.	170
3.4.1.3. Rôle des inductances de câblage côté puissance	174
3.4.1.4. Exemples de réalisation	176
3.4.2. Associations série	177
3.4.2.1. Sélection des composants	177
3.4.2.2. Commande de grille.	177
3.4.2.3. Importance des capacités parasites	181
3.4.2.4. Gestion des tensions	184
3.4.2.5. Fiabilité des mises en séries	189
3.4.2.6. Réalisation : spécificité de la haute tension.	190
3.4.3. Mises en matrices de composants	196
3.5. Bibliographie	198
 Chapitre 4. Mise en œuvre des diodes rapides	 201
Bertrand RIVET	
4.1. Introduction	201
4.2. Règles générales concernant le choix de la diode	202
4.2.1. Paramètres incontournables	202
4.2.1.1. Choix de la tension V_{RRM}	202

4.2.1.2. Limites liées au courant efficace	206
4.2.1.3. Limites liées aux surcharges en courant en régime transitoire	206
4.2.1.4. Limites liées à la température de jonction de fonctionnement	207
4.2.2. Paramètres provoquant un dysfonctionnement de l'application . .	207
4.2.3. Choix des compromis de la diode rapide	208
4.3. Analyse des pertes dues à la diode.	208
4.3.1. Pertes générées dans la diode	208
4.3.1.1. Pertes en conduction : P_{COND}	210
4.3.1.2. Pertes en inverse : P_{INV}	211
4.3.1.3. Pertes en commutation à la fermeture : P_{ON}	212
4.3.1.4. Pertes en commutation à l'ouverture : P_{OFF}	213
4.3.2. Pertes générées par la diode dans des composants périphériques .	215
4.4. Emballage thermique	216
4.4.1. Description du phénomène	216
4.4.2. Détermination des limites.	217
4.5. Exemples d'applications.	220
4.5.1. Diodes de redressement au secondaire des alimentations à découpage.	220
4.5.2. Diode OR-ing.	224
4.5.3. Diode BOOST dans un convertisseur de correcteur de facteur de puissance (PFC)	227
4.5.3.1. Diode BOOST dans un convertisseur de correcteur de facteur de puissance en mode continu sans CALC.	228
4.5.3.2. Diode BOOST dans un convertisseur de correcteur de facteur de puissance en mode continu avec CALC	230
4.5.3.3. Diode BOOST dans un correcteur d'harmonique travaillant en mode critique	232
4.5.4. Diode Damper dans un circuit de déflection horizontale avec correction est-ouest	433
4.5.5. Diodes pour commande de moteur à reluctance	237
4.6. Conclusion	239
4.7. Liste des symboles	239
4.8. Bibliographie	240

Chapitre 5. Applications du carbure de silicium en électronique de puissance	243
Marie-Laure LOCATELLI et Dominique PLANSON	

5.1. Introduction	243
5.2. Les propriétés physiques du carbure de silicium	244
5.2.1. Propriétés structurales.	244

5.2.2. Propriétés chimiques, mécaniques et thermiques	246
5.2.3. Propriétés électroniques et thermiques	247
5.2.3.1. Une large bande d'énergie interdite	248
5.2.3.2. Des porteurs de charge suffisamment mobiles	251
5.2.3.3. Une vitesse de saturation élevée	252
5.2.3.4. Une conductivité thermique élevée.	253
5.2.3.5. Plus globalement (au niveau système), et en résumé.	253
5.2.4. Autres « candidats » semi-conducteurs pour la puissance	254
5.3. Etat de l'art de la technologie des composants de puissance en carbure de silicium	255
5.3.1. Substrats et couches minces de SiC.	255
5.3.1.1. Croissance du monocristal pour la production de substrats	255
5.3.1.2. Obtention de films minces monocristallins	258
5.3.2. Etapes technologiques pour la réalisation de composants de puissance	262
5.3.2.1. Gravure	263
5.3.2.2. Dopage sélectif par implantation ionique	265
5.3.2.3. Oxydation et dépôt d'isolant	268
5.3.2.4. Métallisation	272
5.4. Applications du carbure de silicium en électronique de puissance.	275
5.4.1. Composants SiC pour les alimentations de puissance haute fréquence.	276
5.4.1.1. Diodes Schottky en SiC-4H type N	276
5.4.1.2. Exemple d'application : la correction du facteur de puissance	282
5.4.1.3. Interrupteurs de puissance haute fréquence en SiC	284
5.4.1.4. Transistors MESFET et SIT de puissance en SiC pour applications très hautes fréquences et micro-ondes	289
5.4.2. Composants SiC pour les systèmes à commutation sous haute tension et forte puissance	292
5.4.2.1. Diodes bipolaires et diodes à jonction mixte bipolaire et Schottky	293
5.4.2.2. Thyristors et IGBT	302
5.4.2.3. Applications potentielles.	308
5.4.3. Composants SiC forte énergie pour les systèmes de protection série	309
5.5. Conclusion	312
5.6. Bibliographie	315
Index	325