

Applikationshandbuch IGBT- und MOSFET- Leistungsmodule

**Dr.-Ing. Ulrich Nicolai
Dr.-Ing. Tobias Reimann
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Petzoldt
Dipl.-Phys. Josef Lutz (Kap. 1.3)**

Herausgeber: Peter R. W. Martin

SEMIKRON International



Inhaltsverzeichnis

0 Betriebsweise von Leistungshalbleitern	1
0.1 Elementare Schaltvorgänge.....	1
0.2 Betriebsweise von Leistungshalbleitern.....	4
0.3 Leistungselektronische Schalter.....	6
1 Grundlagen	13
1.1 Einsatzgebiete und heutige Einsatzgrenzen von Leistungsmodulen mit IGBTs oder MOSFETs.....	13
1.2 Leistungs-MOSFET und IGBT.....	14
1.2.1 Aufbauvarianten und prinzipielle Funktion.....	14
1.2.2 Statisches Verhalten.....	22
1.2.2.1 Leistungs-MOSFET.....	23
1.2.2.2 IGBT.....	27
1.2.3 Qualitatives Schaltverhalten von MOSFET und IGBT beim harten Schalten.....	29
1.2.4 Neue Entwicklungsrichtungen bei MOSFETs und IGBTs.....	35
1.3 Freilauf- und Beschaltungsdioden.....	39
1.3.1 Forderungen an Freilauf- und Beschaltungsdioden.....	39
1.3.1.1 Sperrspannung und Durchlaßspannung.....	39
1.3.1.2 Einschaltverhalten.....	40
1.3.1.3 Ausschaltverhalten.....	41
1.3.1.4 Beanspruchung von Freilaufdioden im Gleich- und Wechselrichterbetrieb von Umrichtern mit Spannungszwischenkreis.....	47
1.3.2 Aufbau schneller Leistungsdioden.....	50
1.3.3 Eigenschaften schneller Leistungsdioden.....	51
1.3.3.1 Durchlaß- und Sperrverhalten.....	51
1.3.3.2 Einschaltverhalten.....	52
1.3.3.3 Ausschaltverhalten.....	53
1.3.3.4 Dynamische Robustheit.....	54
1.3.4 Moderne Dioden mit optimiertem Schaltverhalten.....	55
1.3.4.1 Emitter-Konzept.....	55
1.3.4.2 Controlled Axial Lifetime (CAL) - Konzept.....	57
1.3.4.3 Hybrid-Dioden-Konzept.....	59
1.3.5 Reihen- und Parallelschaltung schneller Leistungsdioden.....	61
1.3.5.1 Reihenschaltung.....	61
1.3.5.2 Parallelschaltung.....	63
1.4 Leistungsmodule: Besonderheiten bei Multichipaufbauten.....	64
1.4.1 Aufbau von Leistungsmodulen.....	64
1.4.2 Eigenschaften von Leistungsmodulen.....	67
1.4.2.1 Komplexität.....	67
1.4.2.2 Wärmeabführungsvermögen.....	69
1.4.2.3 Isolationsspannung/Teilentladungsfestigkeit.....	76
1.4.2.4 Lastwechselfestigkeit.....	77
1.4.2.5 Induktivitätsarmer interner Aufbau.....	79
1.4.2.6 EMV-gerechter interner Aufbau.....	80
1.4.2.7 Definiertes, ungefährliches Verhalten bei Moduldefekt.....	81
1.4.2.8 Umweltgerechtes Recycling.....	81
1.4.3 Montage- und Anschlußtechnik: Gehäusebauformen.....	81
1.4.4 SEMIKRON-Bezeichnungsschlüssel für SEMITRANS und SEMITOP Leistungsmodule.....	83
1.5 Beispiele für neue Packaging-Technologien.....	85
1.5.1 SKiPPACK.....	85
1.5.2 MiniSKiP.....	88
1.5.3 SEMITOP.....	91
1.5.4 Alternative niederinduktive IGBT-Modulkonstruktionen für hohe Ströme und Spannungen.....	91
1.6 Integration von Sensorik, Schutzeinrichtungen, Treiber u. Intelligenz.....	92

2	Datenblattangaben für MOSFET-, IGBT-, MiniSKiiP- und SKiiPPACK-Module.....	95
2.1	Allgemeines.....	95
2.1.1	Symbole, Begriffe, Normen.....	95
2.1.2	Grenzwerte, Kennwerte.....	97
2.2	Leistungs-MOSFET-Module.....	97
2.2.1	Grenzwerte.....	97
2.2.2	Kennwerte.....	99
2.2.3	Diagramme.....	104
2.3	IGBT-Module.....	108
2.3.1	Grenzwerte.....	108
2.3.2	Kennwerte.....	109
2.3.3	Diagramme.....	117
2.4	Spezielle Angaben für MiniSKiiPs.....	124
2.5	Spezielle Angaben für SKiiPPACKs.....	125
2.6	Temperaturabhängigkeit der statischen und dynamischen Eigenschaften von Leistungsmodulen.....	125
2.7	Zuverlässigkeit.....	128
3	Applikationshinweise	131
3.1	Bemessung und Auswahl von MOSFET-, IGBT- und SKiiPPACK-Modulen.....	131
3.1.1	Vorwärtssperrspannung.....	131
3.1.2	Durchlaßstrom.....	132
3.1.3	Schaltfrequenz.....	133
3.2	Thermisches Verhalten.....	135
3.2.1	Verlustleistungsbilanz.....	135
3.2.1.1	Einzel- und Gesamtverluste.....	135
3.2.1.2	Verluste im Tiefsetzsteller.....	137
3.2.1.3	Verluste im Pulsspannungswechsel- / -gleichrichter mit sinusförmigen Strömen.....	138
3.2.2	Berechnung der Sperrschichttemperatur.....	144
3.2.2.1	Allgemeines.....	144
3.2.2.2	Sperrschichttemperatur bei Kurzzeitbetrieb.....	146
3.2.2.3	Sperrschichttemperatur bei Pulsfrequenz.....	148
3.2.2.4	Sperrschichttemperatur bei Grundschwingungsfrequenz.....	150
3.2.3	Bewertung der Temperaturverläufe hinsichtlich der Lebensdauer.....	152
3.3	Kühlung von Leistungsmodulen.....	153
3.3.1	Kühleinrichtungen, Kühlmittel und Kühlmethoden.....	153
3.3.2	Thermisches Modell der Kühleinrichtung.....	154
3.3.3	Natürliche Luftkühlung (freie Konvektion).....	155
3.3.4	Forcierte Luftkühlung.....	155
3.3.5	Wasserkühlung.....	159
3.3.6	Kühlkörperdaten von SKiiPPACKs auf Standardkühlern.....	160
3.3.6.1	Forcierte Luftkühlung.....	160
3.3.6.2	Flüssigkeitskühlung.....	162
3.4	Leistungslayout.....	163
3.4.1	Parasitäre Induktivitäten und Kapazitäten.....	163
3.4.2	EMV/Netzurückwirkungen.....	166
3.4.2.1	Prozesse in Stomrichtern.....	166
3.4.2.2	Ursache der Störströme.....	167
3.4.2.3	Ausbreitungswege.....	168
3.4.2.4	Entstörmaßnahmen.....	171
3.4.3	Anschlußfertige Leistungseinheiten.....	172
3.5	Ansteuerung.....	176
3.5.1	Verläufe von Gatestrom und Gatespannung.....	176
3.5.2	Einfluß der Ansteuerparameter auf die Schaltereigenschaften.....	179
3.5.3	Strukturen von Treiberschaltungen und grundsätzliche Forderungen an die Treiber.....	182
3.5.4	Schutz- und Überwachungsfunktionen im Treiber.....	185
3.5.5	Zeitkonstanten und Verriegelungsfunktionen.....	186

3.5.6	Übertragung von Steuerinformationen und Ansteuerenergie.....	187
3.5.6.1	Steuerinformationen und Rückmeldungen.....	189
3.5.6.2	Ansteuerenergie.....	189
3.5.7	Treiberschaltkreise für Leistungs-MOSFET- und IGBT-Module.....	190
3.5.8	SEMI DRIVER	190
3.5.8.1	OEM-Treiber	191
3.5.8.2	SKiiPPACK-Treiber.....	192
3.6	Verhalten im Fehlerfall und Schutz	196
3.6.1	Fehlerarten.....	196
3.6.2	Verhalten von IGBT und MOSFET bei Überlast und Kurzschluß	200
3.6.3	Fehlererkennung und Schutz	205
3.6.3.1	Fehlerstromerkennung und -absenkung	205
3.6.3.2	Überspannungsbegrenzung.....	208
3.6.3.3	Übertemperaturerkennung	214
3.7	Parallel- und Reihenschaltung von MOSFET-, IGBT- und SKiiPPACK-Modulen.....	215
3.7.1	Parallelschaltung	215
3.7.1.1	Probleme der Symmetrierung	215
3.7.1.2	Modulwahl, Ansteuerung, Layout	218
3.7.1.3	Parallelschaltung von SKiiPPACK-Modulen	220
3.7.2	Reihenschaltung	222
3.7.2.1	Probleme der Symmetrierung	222
3.7.2.2	Modulwahl, Ansteuerung, Beschaltung, Layout.....	223
3.8	Weiches Schalten im ZVS- oder ZCS-Mode/Schaltentlastungsnetzwerke	228
3.8.1	Zielstellung und Anwendungsgebiete.....	228
3.8.2	Schaltentlastungsnetzwerke.....	229
3.8.3	Weiches Schalten	231
3.8.3.1	Charakteristische Strom- und Spannungsverläufe/Beanspruchung der Leistungshalbleiter	231
3.8.3.2	Forderungen an die Halbleiterschalter und deren Treiber	234
3.8.3.3	Schalteeigenschaften	236
3.8.3.4	Schlußfolgerungen.....	241
3.9	Handhabung von MOSFET-, IGBT-, MiniSKiiP- und SKiiPPACK-Modulen.....	242
3.9.1	ESD-Empfindlichkeit und Schutzmaßnahmen	242
3.9.2	Montagehinweise	242
3.9.3	SKiiPPACK: geprüfte thermische Verhältnisse ab Werk.....	243
3.10	Software als Dimensionierungshilfe	243
3.10.1	Modellebenen der mathematischen Schaltungsbeschreibung.....	243
3.10.2	Semikron-Software-Service.....	247
4	Quellenverzeichnis und weiterführende Literaturhinweise	249