

Robert Krümmner

**Beitrag zur Verbesserung der elektrischen und
thermischen Ausnutzung**

isle

2005

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
0. Verzeichnis der Formelzeichen, Abkürzungen und Indizes	7
1. Einleitung	15
1.1 Allgemeine Betrachtung	15
1.2 Systemintegration in der Leistungselektronik	16
1.3 Zielstellung der Arbeit	20
2. Grenzparameter von IGBT, MOSFET und Diode	23
2.1 Thermische Grenzen/Übertemperaturen	23
2.2 Überspannungen	25
3. Betrachtungen zur thermischen Beanspruchung von Leistungshalbleitern	31
3.1 Thermische Messverfahren	32
3.2 Thermischer Schutz von Leistungshalbleitern - Stand der Technik.....	32
3.3 Thermisches Verhalten von leistungselektronischen Bauelementen/Simulation.....	34
3.3.1 Vereinfachte eindimensionale Modelle/Ersatzschaltbilder	35
3.3.2 Anwendungsnahe Definition der thermischen Impedanz/des thermischen Widerstandes und der Sperrschichttemperatur für leistungselektronische Bauelemente	37
3.3.3 Messung der thermischen Impedanz $Z_{th,j-c}$	38
3.4 Online Bestimmung von Chiptemperaturen	42
3.4.1 Stand der Technik und Forschungen auf dem Gebiet der Online- Sperrschichttemperaturbestimmung	42
3.4.2 Online elektro-thermische Modellbildung im Mikrocontroller	43
3.4.3 Mathematische Approximation von gemessenen Kennlinien	45
3.4.3.1 Verlustleistungsapproximation - elektrisches Modell	46
3.4.3.2 Impedanzapproximation - thermisches Modell	49
3.4.4 Modellparametrierung	52
3.4.4.1 Thermische Verkopplung	52
3.4.4.2 Anbindung des Entwärmungssystems	55
3.4.4.3 Referenztemperaturmesspunkte	56
3.4.4.4 Umsetzung des Online-Modells im Mikrocontroller	57
3.4.5 Verifizierung der Online-Modelle	59
3.4.5.1 Tiefsetzstellerschaltung im I-Quadrantenbetrieb	59
3.4.5.2 Dreiphasiger Spannungswechselrichter mit einem Multichipmodul	63
4. Aspekte des Überspannungsschutzes	73
4.1 Stand der Forschung	73
4.2 Grundprinzip des Active Clamping	74

4.3 Realisierungsvarianten des Active Clamping	76
4.4 Auswahl der Testschaltungen und der zu untersuchenden Schalter.....	78
4.5 Experimentelle und simulative Untersuchungen einzelner Varianten	79
4.5.1 Tiefsetzstellertestschaltung an eingepprägter Gleichspannung bis 1200V	80
4.5.1.1 Verlustenergien beim aktiven Ausschalten des Haupt-IGBT gegen die erhöhte Kommutierungsinduktivität L_K	82
4.5.1.2 Verluste beim entlasteten Einschalten des Haupt-IGBT durch die Wirkung der Kommutierungsinduktivität L_K	83
4.5.1.3 Verluste beim Rückstromabriss der Schalterdiode gegen die Kommutierungsinduktivität L_K	84
4.5.1.4 Vergleich simulativer und experimenteller Untersuchungen der Verlustanteile und Sperrschichttemperaturen	84
4.5.1.5 Untersuchungen zur Symmetrierung einer IGBT-Parallelschaltung mit Active Clamping	89
4.5.1.6 Untersuchungen zur Symmetrierung von IGBT-Reihenschaltungen mit Active Clamping	95
4.5.1.7 Active Clamping an 3,3kV Hochvolt-IGBT	101
4.5.1.8 Active Clamping an Trench-Field-Stop-IGBTs.....	101
4.5.2 Tiefsetzstellertestschaltung mit hohen Induktivitäten (...mH...) im Zwischenkreis und Kommutierungsspannungen bis 1200V.....	103
4.5.3 Periodisches Active Clamping gegen erhöhte Kommutierungsinduktivitäten	105
4.5.3.1 Periodisches Active Clamping in einer Tiefsetzstellertestschaltung mit erhöhter Kommutierungsinduktivität.....	105
4.5.3.2 Schaltnetzteiltopologien.....	107
4.6. Spannungsausnutzung und thermische Grenzen passiver Elemente am Beispiel des DC-Link-Kondensators	110
4.7 Zusammenfassung.....	114
5. Zusammenfassung der Arbeit.....	117
Literaturverzeichnis.....	119