

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	9
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	18
1 Einleitung	20
2 Stromnetze in Flugzeugen	23
2.1 Flugzeugkonzept der Zukunft: More Electric Aircraft	23
2.2 Aktuelle und zukünftige Stromnetze	24
2.3 Gleichspannungswandler zur Batterie-Netz-Kopplung	24
3 Wide-Band-Gap-Halbleiter	27
3.1 Überblick Materialeigenschaften Siliziumkarbid	27
3.2 Elektrische Eigenschaften im Vergleich zu Silizium	28
3.2.1 Spezifischer Widerstand	28
3.2.2 pn-Übergang	30
3.2.3 Temperaturabhängigkeit	32
4 Gebräuchliche Halbleiterbauelemente der Leistungselektronik	35
4.1 Schottkydiode	35
4.2 PiN Bipolardiode	36
4.3 Vertikaler Leistungs-MOSFET	38
4.3.1 Aufbau und Funktion	38
4.3.2 Kanalbeweglichkeit	40
4.3.3 Gateoxid	41
4.4 Vertikaler Leistungs-JFET aus SiC	42
4.5 Bipolartransistor aus SiC	44
4.6 IGBT	46
4.7 Super-Junction-MOSFET	47
5 Funktionsprinzip einer Halbbrücke als bidirektionaler DC/DC-Wandler	51
5.1 Versorgung des Bordnetzes (Tiefsetzsteller)	51
5.2 Laden der Batterie (Hochsetzsteller)	53
5.3 Synchrongleichrichtung	54
6 Charakterisierung von Leistungshalbleiterverlusten	57
6.1 Leitverluste	57
6.2 Schaltverluste	58
6.2.1 Schaltverhalten bei induktiver Last	58
6.2.2 Messverfahren	64
6.2.3 Definitionen	67
6.2.4 Messmittel	68
6.2.5 Ansteuerung	70

7 Funktionsweise der automatisierten Lösungsfindung	75
7.1 Ablauf	75
7.2 Verlustberechnung in einem temperaturgekoppelten System	79
7.3 Bewertung	82
8 Komponentenbeschreibung zur Einbindung in den optimalen Entwurfsprozess	83
8.1 Passive Schaltungskomponenten und -architektur	83
8.2 Leistungshalbleiter	86
8.2.1 Schottkydioden	89
8.2.2 Bipolardioden	90
8.2.3 Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)	92
8.2.4 SiC-MOSFET	104
8.2.5 SiC-JFET Semisouth	113
8.2.6 SiC-JFET Infineon	120
8.2.7 Si-MOSFET Infineon	128
8.2.8 Si-MOSFET Microsemi	135
8.2.9 Schaltverluste im Vergleich	142
8.2.10 Durchlasswiderstand Unipolartransistoren	144
8.3 Speicherdrossel	147
8.4 Litze	156
8.5 Kondensatoren	158
8.6 Kühlung	159
8.6.1 Theoretische Betrachtungen	159
8.6.2 FEM Simulation	160
8.6.3 Praktische Validierung	162
8.6.4 Analytische Modellierung des Kühlkörpers	163
9 Validierung der Schaltungsmodellierung	171
9.1 Halbleiter	172
9.1.1 SiC-MOSFET	172
9.1.2 SiC-JFET Semisouth	174
9.1.3 SiC-JFET Infineon	176
9.1.4 Si-MOSFET Infineon	177
9.1.5 Si-MOSFET Microsemi	179
9.1.6 Si-IGBT	184
9.2 Kühlkörper	187
9.3 Thermische Widerstände	189
10 Ergebnisse des Optimierungsverfahrens	199
10.1 Minimales Gewicht	200
10.2 Minimale Verluste	216
10.3 Maximales Leistungsgewicht	221
11 Zusammenfassung und Ausblick	225
Literatur	231
Veröffentlichungen	236

A Appendix	237
A.1 Halbleitercharakteristika	237
A.1.1 Schaltverluste	237
A.1.2 Leitwiderstände	237
A.1.3 Gateansteuerung	237
A.1.4 Schottkydiode	238
A.1.5 Bipolardiode	238
A.1.6 IGBT	239
A.1.7 SiC-MOSFET	241
A.1.8 SiC-JFET Semisouth	242
A.1.9 SiC-JFET Infineon	243
A.1.10 Si-MOSFET Infineon	244
A.1.11 Si-MOSFET Microsemi	245
A.2 Magnetika	246
A.3 Kühlkörperersatzschaltbildberechnung	247

Abbildungsverzeichnis

2.1	Bidirektionale Wandlerstruktur zur Batterie-Netz-Kopplung bestehend aus zwei gespiegelten Halbbrücken zur bipolaren Spannungserzeugung	25
3.1	Struktur, Ladungsträgerverteilung, Feld- und Spannungsverlauf an einem idealen, abrupten pn-Übergang mit nur einseitigem Feldaufbau	29
3.2	pn-Übergang mit externer Spannung	31
4.1	Bändermodell eines Schottkykontakts	35
4.2	Struktur und Feldverteilung einer PiN-Diode ([Bal08])	37
4.3	Querschnitt durch die Halbleiterstruktur eines vertikalen Leistungs-MOSFETs	38
4.4	Querschnitt durch die Halbleiterstruktur eines Trenchgate-MOSFETs	39
4.5	Querschnitt durch die Halbleiterstruktur eines JFETs mit vertikalem Kanal	42
4.6	Querschnitt durch die Halbleiterstruktur eines JFETs mit horizontalem Kanal	42
4.7	Kaskode bestehend aus Hochvolt-JFET und Niedervolt-MOSFET	43
4.8	Querschnitt durch die Halbleiterstruktur eines npn-Bipolartransistors	44
4.9	Aufbau eines IGBTs	46
4.10	Halbleiterstruktur und Ladungsträgerverteilung einer Super-Junction-Driftzone	48
4.11	Herstellungsschritte für die Streifenstruktur der Super-Junction-Struktur	49
5.1	Schaltplan einer Halbbrückentopologie als Kombination aus Tief- und Hochsetzsteller	51
5.2	Schaltplan eines Tiefsetzstellers mit idealen Strom- und Spannungsverläufen	52
5.3	Schaltplan eines Hochsetzstellers mit idealen Strom- und Spannungsverläufen	53
5.4	Schaltplan eines Hochsetzstellers bei Verwendung von Synchronleichrichtung mit idealen Strom- und Spannungsverläufen	55
6.1	Schaltungsplan zur Messung von Durchlassverhalten und Leitwiderstand	57
6.2	Ideale Kommutierung bei induktiver Last	58
6.3	Kommutierung bei induktiver Last mit parasitären Induktivitäten	60