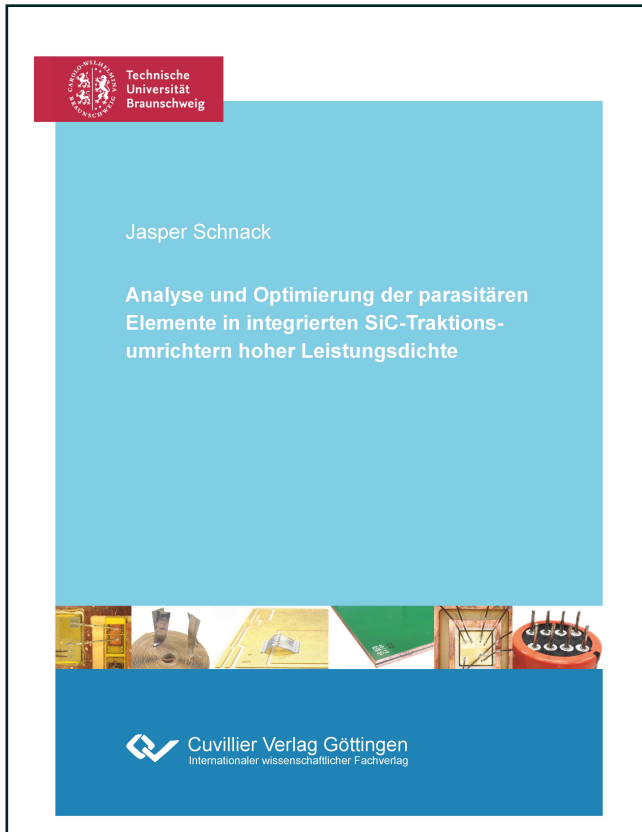




Jasper Schnack (Autor)

# Analyse und Optimierung der parasitären Elemente in integrierten SiC-Traktionsumrichtern hoher Leistungsdichte



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8766>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>V</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>VII</b>
<b>Nomenklatur</b> .....	<b>XII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Technologische Herausforderungen und Problemstellung .....	1
1.2 Stand der Forschung und Technik .....	3
1.3 Gegenstand und Ziel der Arbeit .....	4
<b>2 Grundlagen und Vorbetrachtung</b> .....	<b>7</b>
2.1 Parasitäre Elemente in der Leistungselektronik .....	7
2.1.1 Berechnungsmethoden .....	8
2.1.2 Parasitäre Widerstände .....	10
2.1.3 Parasitäre Induktivitäten.....	11
2.1.4 Parasitäre Kapazitäten.....	15
2.2 Extraktion parasitärer Elemente .....	17
2.2.1 Frequenzgehalte in Umrichtern mit schnellschaltenden Halbleitern .....	17
2.2.2 Frequenzabhängigkeit der parasitären Elemente.....	20
2.2.3 Verwendete Simulationsmethoden für parasitäre Elemente .....	24
2.2.4 Messverfahren für parasitäre Elemente.....	26
<b>3 Antriebsumrichter mit Systemkomponenten</b> .....	<b>32</b>
3.1 Systemkomponenten und Topologie eines Antriebsumrichters.....	32
3.1.1 Leistungsmodul-Technologien.....	32
3.1.2 Zwischenkreiskondensatoren .....	36
3.1.3 Vergleich und Zusammenfassung der Kondensatortechnologien .....	44
3.1.4 Zwischenkreisverbindungstechnik.....	46
3.2 Parasitäre Modellierung der Systemkomponenten .....	52
3.2.1 Leistungshalbleiter .....	52
3.2.2 Leistungsmodule .....	55
3.2.3 Gate-Anbindung.....	63
3.2.4 Zwischenkreiskondensatoren .....	69
3.2.5 Halbbrückenzele.....	76
<b>4 Umrichter mit reduzierten parasitären Elementen</b> .....	<b>80</b>
4.1 Auslegung des Antriebsumrichters für ein gegebenes Antriebssystem .....	81
4.2 Auslegung des Zwischenkreiskondensators.....	83
4.2.1 Volumenbasierte Dimensionierung.....	84
4.2.2 Optimierung der Elektrolytkondensatorverbindung.....	87
4.2.3 Optimierung der Folienkondensatorverbindung .....	96
4.3 Auslegung der Leistungsmodule.....	102

4.3.1	Volumenbasierte Dimensionierung.....	102
4.3.2	Optimierung der Halbleiterkontaktierung.....	104
4.3.3	Optimierung der Leitungsführung und Außenschnittstellen.....	107
4.3.4	Leistungsmodul mit optimiertem thermischen Pfad.....	110
4.4	Auslegung der Ansteuerelektronik.....	115
4.4.1	Reduzierung der Gate-Induktivität.....	115
4.4.2	Reduzierung der Streukapazität.....	118
4.5	Auslegung der Zwischenkreisverbindungstechnik.....	119
4.5.1	Dimensionierung und Technologievergleich.....	120
4.5.2	Optimierung der Schraubverbindung.....	123
<b>5</b>	<b>Ganzheitliche Optimierungsansätze für integrierte Umrichter.....</b>	<b>127</b>
5.1	Hinführung zum Thema.....	127
5.2	Zwischenkreisstruktur mit integrierten Kondensatoren.....	128
5.2.1	Betriebsverhalten des Elektrolytkondensators.....	128
5.2.2	Parallelisierung von Kondensatorwickeln.....	130
5.2.3	Zwischenkreiskondensatorbank auf Basis von Folienkondensatoren.....	134
5.3	Entwicklung einer planaren Kommutierungsmasche.....	135
5.3.1	Planares Leistungsmodul.....	135
5.3.2	Realisierung der Kommutierungsmasche.....	138
5.3.3	Einfluss der Halbleiteranzahl.....	140
5.4	Integration von Bypass-Kondensatoren.....	141
5.4.1	Bypass-Kondensatoren in dem Leistungsmodul.....	141
5.4.2	Hybrider Zwischenkreis.....	149
<b>6</b>	<b>Integrierter Antriebsumrichter auf SiC-Basis.....</b>	<b>155</b>
6.1	Mechatronik und Leistungsbaustein der axialen Inverterintegration.....	155
6.1.1	Vergleich der Zwischenkreis-Kondensatorstechnologien.....	158
6.1.2	Realisierung der Gate-Ansteuerung.....	161
6.1.3	Parasitäres Ersatzschaltbild des Halbbrückenbausteins.....	164
6.2	Aufbau und Betrieb des SiC-Antriebsumrichters.....	167
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit.....</b>	<b>171</b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>175</b>
A.1	Berechnung der parasitären Induktivität von Mehrfachbondverbindungen....	175
A.2	Folgen parasitärer Elemente in der Halbbrückenzelle.....	177
A.3	Fallunterscheidungen für die Herleitung der Zwischenkreiskapazität.....	180
A.4	Berechnung der Verlustleistung im Leistungs-MOSFET.....	183
A.5	Detaildarstellung Anschlusssysteme.....	184
A.6	Systemsimulation zur Effektivstrombelastung des Bypass-Kondensators.....	185
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>.....</b>	<b>187</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>.....</b>	<b>209</b>

---

**Veröffentlichungsliste ..... 210**