

Berichte aus dem Fachgebiet Leistungselektronik und  
Elektrische Antriebstechnik

Band 6

**Oliver Wallscheid**

**Ein Beitrag zur thermischen Ausnutzung  
permanenterregter Synchronmotoren  
in automobilen Traktionsanwendungen**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag  
Aachen 2017

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2017

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5160-5

ISSN 1862-3492

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen  
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9  
Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Zusammenfassung

Essentielle Anforderungen moderner Antriebssysteme für (teil-)elektrisch angetriebene Fahrzeuge sind eine hohe Leistungs- und Drehmomentdichte bezogen auf Volumen und Gewicht. Hierbei determinieren insbesondere die zulässigen Grenztemperaturen wichtiger Motorkomponenten das transient sowie dauerhaft erzielbare elektromechanische Leistungspotential. Für die in automobilen Anwendungen häufig eingesetzten *permanentterregten Synchronmotoren* (PMSM) ist die Temperaturverteilung innerhalb der Wicklung und der Permanentmagnete von besonderem Interesse. Um den thermischen Bauteilschutz zu gewährleisten, werden Motoren in der industriellen Praxis häufig überdimensioniert, was zusätzlichen Gewichts- und Bauraumbedarf sowie höhere Produktionskosten bedingt. Alternativ kann ein aktives *Derating* eingesetzt werden, welches die zulässige Motorleistung in Abhängigkeit des thermischen Zustands regelt. Dies erlaubt, sowohl die thermischen Kapazitäten des Motors gezielt auszunutzen als auch die Leistungsaufnahme im thermisch stationären Betrieb zu maximieren, d.h. den Grad der Motorüberdimensionierung in der Konstruktionsphase zu minimieren. Substantielle Voraussetzung hierfür ist die Kenntnis wichtiger Motortemperaturen zur Laufzeit – eine messtechnische Erfassung dieser ist allerdings aus Kosten- und Ausfallsicherheitsgründen, insbesondere innerhalb des Rotors, nicht möglich. Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt daher auf der modellbasierten Temperaturschätzung.

Eine direkte thermische Modellierung erfolgt zunächst mittels konzentrierter Parameter (*lumped-parameter thermal network* - LPTN). Hierfür wird ein mehrstufiges Verfahren entwickelt, welches beginnend mit einer analytischen Modellierung basierend auf Konstruktions- und Materialdaten eine zusätzliche experimentelle Identifikation wichtiger Modellparameter vorsieht (*Grey-Box Ansatz*). Das zugrundeliegende LPTN stellt hierbei ein lineares, parametervariantes Modell hinsichtlich der thermischen Zustände dar, welches zudem ein nichtlineares Verlustleistungsmodell im Eingangspfad aufweist. Zur Identifikation dieses Gesamtmodells wird ein globales Identifikationsverfahren auf Basis einer Partikelschwarmoptimierung erarbeitet, welches gegenüber dem Stand der Technik eine robuste Identifikation mit besonderem Fokus auf dem kritischen Überlastbetrieb ermöglicht. Ein zweiter Ansatz zielt auf die *indirekte Temperaturbeobachtung* durch Schätzung temperaturabhängiger Parameter innerhalb des elektrischen Motormodells ab. Hier steht insbesondere die Remanenzflussdichte der Permanentmagnete im Fokus. Da die Temperatursensitivität der Magnete vergleichsweise gering ausfällt, ist eine exakte Modellierung des elektrischen Motors als auch des speisenden Umrichters erforderlich, da andernfalls signifikante Beobachtungsfehler resultieren. Da die direkte und indirekte Temperaturermittlung vollständig unabhängig voneinander sind, wird ferner die Fusionierung beider Ansätze mittels *Kalman-Filter* zur Erhöhung der Schätzperformanz untersucht. Hierbei ist die optimale Auslegung des Filters mit Bezug auf die praxisnahe Anwendung gegenüber den idealtypischen Annahmen in der Filtertheorie zu diskutieren.

Darauf aufbauend wird die thermische Modellierung innerhalb einer konventionellen sowie prädiktiven Temperaturregelung genutzt. Hierbei werden die Vorteile eines modellprädiktiven Ansatzes (*model predictive control* - MPC) hinsichtlich der Erhöhung der maximalen elektromechanischen Leistungswandlung gegenüber einer konventionellen Regelung ohne Prädiktion herausgestellt. Als Fallbeispiel bzw. Vergleichsgrundlage wird ein vereinfachtes Fahrzeug-, Fahrer- sowie Streckenmodell im Sinne einer Rennsimulation erarbeitet.