

UNIVERSITÄT DER BUNDESWEHR MÜNCHEN
FAKULTÄT FÜR
ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTECHNIK

**Die sensorlose Regelung
der Klauenpolmaschine
im Starterbetrieb von Kraftfahrzeugen**

László Farkas

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. rer.nat. habil. Claus Hillermeier

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Gerling

2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Bausch (i.R.)

Tag der Prüfung: 13.09.2007

Mit der Promotion erlangter akademischer Grad:
Doktor der Ingenieurwissenschaften
(Dr.-Ing.)

Neubiberg, den 19.09.2007

Forschungsberichte Elektrische Antriebstechnik und Aktorik

Band 3

László Farkas

**Die sensorlose Regelung der Klauenpolmaschine
im Starterbetrieb von Kraftfahrzeugen**

Shaker Verlag
Aachen 2007

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.: München, Univ. der Bundeswehr, Diss., 2007

Copyright Shaker Verlag 2007

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-6640-0

ISSN 1863-0707

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als Entwicklungsingenieur der DaimlerChrysler AG in Sindelfingen und erfuhr große Unterstützung durch das Institut für Elektrische Antriebstechnik und Aktorik (EAA) unter der Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Gerling der Universität der Bundeswehr München.

Mein herzlicher Dank gilt sowohl meinen Betreuern, Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Gerling und Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. H. Bausch (i.R.), von der Universität der Bundeswehr München als auch Herrn Dr.-Ing. O. Bitsche von der DaimlerChrysler AG. Ihre Anregungen und Diskussionsbereitschaften haben den Erfolg der Arbeit erst ermöglicht.

Herrn Univ.-Prof. Dr. rer.nat. habil. C. Hillermeier danke ich sehr für das Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Vorsizes des Promotionsausschusses.

Danken möchte ich ebenfalls den Herren Dr.-Ing. D. Sahn und Dipl.-Ing. S. Weis sowie Frau Dr.-Ing. I. Hajdarevic von der DaimlerChrysler AG als auch Herrn Prof. Dr.-Ing. R. Blümel und den Herren Dr.-Ing. J. Ehrenberg und Dipl.-Ing. T. Petersen von der Sican GmbH in Braunschweig.

Besonders danken möchte ich an dieser Stelle meiner Familie für die jahrelange Unterstützung und das entgegengebrachte Verständnis.

1	EINLEITUNG	3
2	STARTER-GENERATOR-TECHNOLOGIEN	4
2.1	Stand der Technik	4
2.2	Ziele der Arbeit	8
3	VERSUCHSAUFBAU	9
4	MODELLIERUNG DER KLAUENPOLMASCHINE (KPM)	12
4.1	Einsatzentwicklung der KPM	12
4.2	Aufbau	13
4.3	Modell der KPM	17
4.3.1	Spannungsgleichungen	17
4.3.2	Drehmomentgleichung	21
4.3.3	Übersetzungsverhältnis und Magnetisierungsstrom	21
4.3.4	Modellparameter	22
4.3.4.1	Koppelinduktivität L_m	22
4.3.4.2	Statordrehfeldinduktivitäten in d- und q-Achse und Statorwiderstand	24
4.3.4.3	Rotorwiderstand und -induktivität	29
4.4	Betriebsbereich	30
4.4.1	Ankerstellbereich (ASB)	30
4.4.2	Feldstellbereich (FSB)	34
4.5	Erzielbares Drehmoment	35
5	MODELLIERUNG DER LAST	36
5.1	Verbrennungsmotor ohne Zündkerzen	37
5.1.1	Auslaufversuch	37
5.1.2	Hochlaufversuch	40
5.2	Verbrennungsmotor mit Zündkerzen	40

6	STARTERBETRIEB DER KPM	42
6.1	Statorgesamtwidestandsbestimmung	42
6.1.1	Notwendigkeit der Widerstandsbestimmung	42
6.1.1.1	Einleitung	42
6.1.1.2	Wicklungserwärmung infolge Bestromung	44
6.1.2	Regelkreis Aufbau zur Widerstandsermittlung.....	47
6.1.3	Linearisierung der Teilregelungsstruktur.....	50
6.1.4	Reglerauswahl	52
6.1.5	Stabilitätsuntersuchung.....	53
6.1.5.1	Überprüfung Hurwitz-Kriterium in linearisierter Regelungsstruktur.....	53
6.1.5.2	Stabilitätsanalyse der Arbeitspunktkurve im linearisierten System.....	54
6.1.5.3	Variationsmöglichkeiten der Größen im nichtlinearen System	55
6.1.6	Vergleich von Messung und Simulation	67
6.2	Positionsidentifizierung	69
6.2.1	Relative Position des Rotors	70
6.2.1.1	Funktionsprinzip	70
6.2.1.2	Auswertungsprinzip	72
6.2.2	Absolute Position des Rotors	74
6.2.2.1	Funktionsprinzip	74
6.2.2.2	Induktivitätsbetrachtung	76
6.2.2.3	Gradientenauswertung	80
6.2.2.4	Auswertungsprinzip	85
6.3	Drehzahlbeobachter.....	90
6.4	Implementierte Regelungsstruktur mit Gesamtmessverlauf.....	93
7	BEWERTUNG DES SENSORLOSEN SYSTEMS.....	97
8	ZUSAMMENFASSUNG.....	102
9	LITERATURVERZEICHNIS.....	105
10	FORMELZEICHEN UND ABKÜRZUNGEN.....	108