

Jürgen Ulm

Kommutatormaschinen und geschaltete Reluktanzmaschinen

Eine Arbeitsgemeinschaft der Verlage

Böhlau Verlag • Wien • Köln • Weimar
Verlag Barbara Budrich • Opladen • Toronto
facultas • Wien
Wilhelm Fink • Paderborn
Narr Francke Attempto Verlag / expert verlag • Tübingen
Haupt Verlag • Bern
Verlag Julius Klinkhardt • Bad Heilbrunn
Mohr Siebeck • Tübingen
Ernst Reinhardt Verlag • München
Ferdinand Schöningh • Paderborn
transcript Verlag • Bielefeld
Eugen Ulmer Verlag • Stuttgart
UVK Verlag • München
Vandenhoeck & Ruprecht • Göttingen
Waxmann • Münster • New York
wbv Publikation • Bielefeld

Jürgen Ulm

Kommutatormaschinen und geschaltete Reluktanzmaschinen

expert ›

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

© 2020 · expert verlag GmbH
Dischingerweg 5 · D-72070 Tübingen

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes
ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt
insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen
und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Alle Informationen in diesem Buch wurden mit großer Sorgfalt erstellt.
Fehler können dennoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Weder
Verlag noch Autoren oder Herausgeber übernehmen deshalb eine
Gewährleistung für die Korrektheit des Inhaltes und haften nicht für
fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Einbandgestaltung: Atelier Reichert, Stuttgart

Internet: www.expertverlag.de
eMail: info@verlag.expert

CPI books GmbH, Leck

utb-Nr. 5352

ISBN 978-3-8252-5352-3 (Print)

ISBN 978-3-8385-5352-8 (ePDF)

Vorwort

Die Hochschule Heilbronn – Reinhold-Würth-Hochschule Campus Künzelsau



zeichnet sich durch die Studiengänge

- Automatisierungstechnik und Elektro-Maschinenbau (B.Sc.)
- Elektrotechnik (B.Sc.)
- Elektrotechnik (M.Sc.) mit Schwerpunkt elektromagnetische Systeme (EMS)

aus, worin sie sich im Bereich Elektromagnetismus und deren Theorie bereits einen sehr beachtlichen Bekanntheitsgrad erarbeitet hat. Hier sei insbesondere die Lehre im Bereich Elektromagnetismus, Elektromaschinenbau und der Theorie elektromagnetischer Felder zu erwähnen. Durch das Modell **„Studieren im Labor (StudLab)“** konnte die Attraktivität der Lehre des Elektromagnetismus nachweislich gesteigert werden. Die Vorlesungen finden hierbei im Labor statt. Berechnungsergebnisse werden umgehend an den Prüfbänken verifiziert. Zudem stehen den Studierenden Anschauungsobjekte während der Vorlesungen ständig zur Verfügung. StudLab vereint damit die Theorie mit der Praxis und macht den Elektromagnetismus (be-) greifbarer. Besonders hervorzuheben ist die qualitativ hochwertige Laborausstattung im Labor **Elektrische Maschinen und Leistungselektronik**. Spezielle Experimentier- und

Prüfbänke erlauben den Aufbau und die Inbetriebnahme einer Vielzahl von Elektromotoren/Generatoren durch die Studierenden. Diese Vielfalt lädt zum eigenständigen Experimentieren ein. Ergänzt wird die Laborausstattung durch ein umfangreiches und vielfältiges Messequipment sowie Mess- und FEM-Software. An dieser Stelle gilt mein Dank meinen Institutsmitarbeitern, welche den Aufbau und reibungslosen Betrieb des Labors ermöglichen: Herrn Reiner Giesel (Laboringenieur), Herrn Wilhelm Feucht (Labormeister), Herrn Reinhardt Erli (akademischer Mitarbeiter), Herrn Dimitri Delkov (Doktorand) und Frau Ksenia Rostova (Doktorandin).

Dieses Buch soll vorlesungsbegleitend in die Kommutator- und geschaltete Reluktanzmaschine einführen. Derartige Maschinentypen und noch viele mehr können im Labor „Elektrische Maschinen“ am Campus Künzelsau mittels Modulbauweise von den Studierenden selbst aufgebaut und in Betrieb genommen werden.

Die hierzu erforderliche Ausstattung wurde mit Hilfe der **Stiftung zur Förderung der Reinhold-Würth-Hochschule der Hochschule Heilbronn in Künzelsau**

Mit freundlicher Unterstützung der Stiftung
zur Förderung der Reinhold-Würth-Hochschule
der Hochschule Heilbronn in Künzelsau

in Trägerschaft der



STIFTUNG WÜRTH

im Rahmen der Projekte

- MagCalc (2009)
- MagSim (2011)
- MagTransparent (2014)

beschafft. Mein Dank gilt an dieser Stelle der Stiftung für diese großartige Unterstützung. Mein besonderer Dank gilt dem Vorsitzenden des Stiftungsaufsichtsrats der Würth-Gruppe Herrn **Prof. Dr. h. c. mult. Reinhold Würth**.

Begleitend wurde 2010 das **Institut für schnelle mechatronische Systeme (ISM)**



gegründet. Im Institut arbeiten Doktoranden als wissenschaftliche Institutsmitarbeiter im Grundlagenbereich sowie akademische Institutsmitarbeiter in der industrienahen Forschung und Entwicklung. Aus den Institutstätigkeiten gehen zahlreiche Patente, Preise und Veröffentlichungen hervor. Im Rahmen einer groß angelegten Campuserweiterung wurde ein Forschungsgebäude errichtet und zudem das **Institut für Digitalisierung und elektrische Antriebe (IDA)** im Mai 2019 gegründet.



Mit IDA soll die industrienahе Forschung und Entwicklung zwischen Hochschulen, Universitäten und der Industrie am Campus Künzelsau vertieft werden. Zum geschäftsführenden Institutsdirektor wurde Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ulm bestellt und stellvertretender Institutsdirektor ist Prof. Dr.-Ing. Ingo Kühne. Mit der Funktion der Institutsassistentz wurde Dr. Anna Konyev beauftragt.

Mit freundlichen Grüßen
der Autor
im Frühjahr 2020

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen der elektro-magneto-mechanischen Energiewandlung	1
1.1 Kontinuierliche Antriebe	1
1.2 Diskontinuierliche Antriebe	6
1.3 Elektromagnete	9
2 Kommutatormaschine – Einführung	11
2.1 Aufbau der Kommutatormaschine	12
2.2 Beispiele für Kommutatormaschinen	13
3 Kommutatormaschine – Einsatz und Ersatzschaltbild	23
3.1 Einsatz der Kommutatormaschine	23
3.2 Ersatzschaltbild der Kommutatormaschine	24
4 Kommutatormaschine – Definitionen und Normen	25
4.1 DIN EN 60034-8 (VDE 0530-8)	26
4.2 DIN EN 60617 Teile 2 und 4	28
4.3 Definitionen geometrischer Größen	31
4.4 DIN EN 60276	32
4.5 DIN IEC 773	32
5 Kommutatormaschine – Herleitung der Maschenspannungen	33
6 Kommutatormaschine – Wicklungen	39
6.1 Von der Oberflächen- zur Nutwicklung	39
6.2 Gesehnte und ungesehnte Wicklung	40
6.3 Definitionen gewählter Formelzeichen	41
6.4 Schleifenwicklung	42
6.5 Wellenwicklung	43