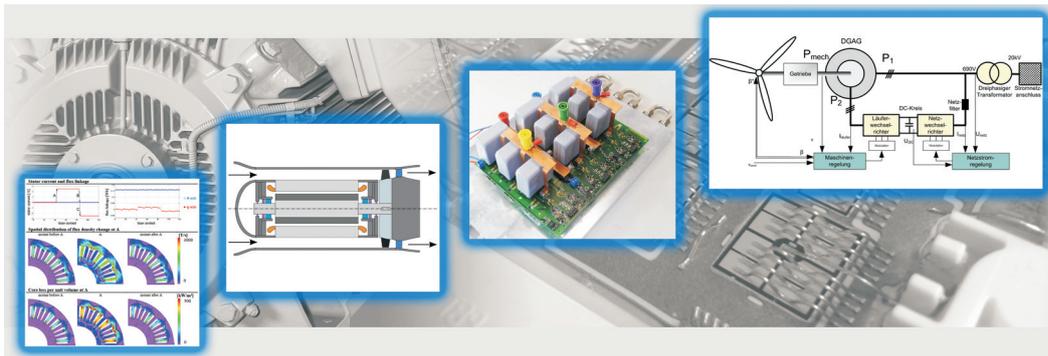


Zweijahresbericht



Biennial Report

2012/2013

2012 / 2013



Institut für
Antriebssysteme und
Leistungselektronik

Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens

Leistungselektronik
Antriebsregelung

Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick

Elektrische Maschinen
Antriebssysteme

Anschrift

Institut für Antriebssysteme und
Leistungselektronik
Leibniz Universität Hannover
Welfengarten 1
30167 Hannover

<http://www.ial.uni-hannover.de>

Zweijahresbericht

Antriebsregelung

Elektrische Antriebssysteme

Elektrische Maschinen

Leistungselektronik

Biennial Report

Drive Control

Drive Systems

Electrical Machines

Power Electronics

Impressum

Herausgeber:

Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL)
Leibniz Universität Hannover

Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens, Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick

Redaktion und Übersetzung:

Dipl.-Fachübers. Petra Duensing

Inhaltsverzeichnis ♦ Table of Contents

Vorwort ♦ Preface	4
Forschung am IAL: Projektberichte ♦ Research at IAL: Project Reports	9
FPGA-basierte positionsgeberlose Regelung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen.... FPGA-based Sensorless Control of Permanent Magnet Synchronous Machines	10
Maschinendesign für positionsgeberlose Regelung..... Machine Design for Self-sensing Control	12
Grenzen der Drehmomentdichte mobiler elektrischer Antriebe	14
Limitations of Torque Density in Mobile Electric Motors	
Adaptives Effizienz- und Temperaturmanagement von Antriebssystemen für die Elektrotraktion	16
Adaptive Efficiency and Temperature Management for Electric Traction Drives	
Erstellung und Black-Box-Parametrisierung thermischer Modelle für elektrische Traktionsmotoren	18
Development and Black-box Parameterization of Thermal Models for Electric Traction Motors	
Berechnung von optimierten <i>M-n</i> -Kennfeldern für Schenkelpolsynchronmaschinen	20
Calculation of Optimized <i>M-n</i> Characteristics for Salient-pole Synchronous Machines	
Steigerung der Energieeffizienz durch intelligente Nutzung elektrischer Antriebssysteme	22
Increase in Energy Efficiency through Intelligent Use of Electric Drives	
Design eines elektromagnetisch aktuierten Biegeaktors für die Endoskopie	24
Design of a Fully Actuated Electromagnetic Bending Actuator for Endoscopic Applications	
Untersuchung modularer Multilevel-Umrichter	26
Examination of Modular Multilevel Converters	
Messspulensysteme zur Fehlererkennung in Offshore-Windenergieanlagen	28
Search Coil Systems Used for Fault Detection in Offshore Wind Turbines	
Fault-Ride-Through-Regelung von Mittelspannungsumrichtern mit LCL-Filter in dezentralen Erzeugungsanlagen.....	30
Fault Ride-Through Control of Medium-Voltage Converters with LCL Filter in Distributed Generation Systems	
Smart Nord	32
Smart Nord	
Das GeCoLab – Prüfstand für Generator-Umrichter-Systeme mit 1,2 MW im Bau	34
GeCoLab – 1.2 MW Test Bench under Construction for Generators and Converters	
Drei Jahre Leibniz Forschungsinitiative Energie 2050 (LFE)	36
Three Years of Leibniz Research Initiative Energy 2050 (LFE)	
30 Jahre FEMAG – Bekanntes und Neuheiten	38
30 Years of FEMAG – New and Proven Features	
HorsePower Hannover	40
HorsePower Hannover	
Neuigkeiten bei der Protolar GmbH	42
Novelties at Protolar GmbH	

Lehre am IAL ♦ Education at IAL	43
Energietechnologie	45
Energy Technology	
Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung	46
Basics of Electromagnetical Power Conversion	
Berechnung elektrischer Maschinen	47
Theory of Electrical Machines	
Elektrische Klein- und Servoantriebe	48
Small Electrical Motors and Servo Drives	
Elektronisch betriebene Kleinmaschinen	49
Small Electronically Controlled Motors	
Elektrische Antriebssysteme	50
Electrical Drive Systems	
Leistungselektronik I	52
Power Electronics I	
Leistungselektronik II	53
Power Electronics II	
Einführung in das deutsche und europäische Energierecht	54
Introduction into German and European Energy Law	
Leistungshalbleiter und Ansteuerungen	55
Power Semiconductors and Gate Drives	
Regelung elektrischer Drehfeldmaschinen	56
Control of Electrical Three-phase Machines	
Elektrische Bahnen und Fahrzeugantriebe	57
Electrical Traction and Vehicle Drives	
Modellierung von elektromechanischen Mikrosystemen	58
Modeling of Electromechanical Micro Systems	
Kolloquium „Elektrische Antriebssysteme“, „Berechnung elektrischer Maschinen“ und „Elektrische Klein- und Servoantriebe“	59
Colloquium on “Electrical Drive Systems“, “Theory of Electrical Machines“ and “Small Electrical Motors and Servo Drives“	
Labor „Leistungselektronik“	60
Laboratory Exercise on “Power Electronics“	
Labor „Elektrische Maschinen“	61
Laboratory Exercise on “Electrical Machines“	
Labor „Elektrische Antriebssysteme“	62
Laboratory Exercise on “Electrical Drive Systems“	
Labor „Energietechnologie“	63
Laboratory Exercise on “Energy Technology“	
Labor „E-Drive Road Test“	64
Laboratory Exercise on “E-Drive Road Test“	
Studentische Arbeiten 2012/2013	65
Students' Theses 2012/2013	
Nachwuchsgewinnung	72
Recruiting Young Talents	

Das Institut ♦ The Institute	75
Mitarbeiter des IAL Staff of IAL	76
Chronik 2012/2013 Chronicle 2012/2013	81
Veröffentlichungen 2012/2013 Publications 2012/2013	88
Veranstaltungen 2012/2013 Events 2012/2013	92
Auszeichnungen 2012/2013..... Awards 2012/2013	93
Dissertationen 2012/2013 ♦ Dissertations 2012/2013	95
Untersuchung des modularen Direktumrichters „Hexverter“ Evaluation of the Modular Cyclo Converter “Hexverter“	96
Modellierung des dynamischen Verhaltens permanentmagneterregter Synchronmaschinen..... Modeling Transient Phenomena of Permanent Magnet Synchronous Machines	98
Zur Anwendung eines bandseparierenden Modulationsverfahrens mit niedrigen Taktzahlen in der Leistungselektronik..... Use of a Band Separating Modulation Strategy with Low Ratios of Switching vs. Output Frequency in Power Electronics	100
Oberwellenorientierte Wicklungsmodifikation von permanentmagneterregten Synchronmaschinen mit Zahnspulenwicklung Winding Modification of Permanent Magnet Synchronous Machines with Tooth-coil Winding Based on Harmonic Analysis	102
Positionsgeberloser Betrieb von permanentmagneterregten Synchronmaschinen Self-sensing Control of Permanent Magnet Synchronous Machines	104

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

die letzten beiden Jahre waren am IAL durch viele interessante Forschungsprojekte geprägt, aber auch durch wichtige Baumaßnahmen. Deren Größte ist die Errichtung des Neubaus „Testzentrum für Tragstrukturen“ in Hannover-Marienwerder, in dem das IAL einen 1,2-MW-Prüfstand für Generator-Umrichter-Systeme installiert. Näheres dazu finden Sie auf Seite 34.

Aber auch am IAL selbst hat es größere bauliche Änderungen gegeben: Nachdem wir geeignete Abstellflächen für gerade nicht benutzte Labormaschinen und -umrichter im Keller hergerichtet hatten, konnten wir unsere Elektrowerkstatt in einen bisher wenig genutzten Teil des Labors verlegen und die bisherige Elektrowerkstatt zu einer großzügigen Kombination aus Bibliothek und Besprechungsraum umbauen. Auf diese Weise konnten wir nicht nur bessere Räumlichkeiten für Elektrowerkstatt und Besprechungsraum schaffen, sondern auch zehn neue Büroarbeitsplätze für wissenschaftliche Mitarbeiter.

Deren Zahl hat sich in den letzten beiden Jahren nur leicht auf nunmehr 36 erhöht. Schon zu Beginn des Jahres 2014 wird sie aber auf 40 weiter anwachsen. Auch für unser Geschäftszimmer und unsere Werkstatt konnten wir Verstärkung gewinnen. Einzelheiten finden Sie auf Seite 76.

Wir verstehen uns nach wie vor als ein methodisch aufgestelltes Institut, das in der Lage ist, die gesamte Breite der elektrischen Antriebstechnik abzudecken. Dazu gehören Antriebskonzepte, Berechnungsverfahren für und wichtige Parasitäreffekte in elektrischen Maschinen, Wechselwirkungen in umrichtergespeisten Antrieben, die Regelung elektrischer Antriebe, leistungselektronische Schaltungskonzepte, sowie die Bewertung und Einsatztechnik von Leistungshalbleitern.

Unsere Aktivitäten teilen sich thematisch nach wie vor zu fast gleichen Teilen in Antriebe für industrielle Anwendungen, Fahrzeugantriebe und Projekte rund um regenerative Energien. Vor allem in den letzten beiden Forschungsfeldern hat sich eine zum Teil enge Zusammenarbeit innerhalb von universitätsübergreifenden Forschungsverbänden wie dem Niedersächsischen Forschungszentrum für Fahrzeugtechnik NFF oder dem Zentrum für Windenergieforschung ForWind etabliert. Die Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft wurde auf das Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) in Kassel ausgeweitet. Innerhalb der

Preface

Dear readers,

IAL's last two years have been characterized by a variety of interesting research projects, but also by comprehensive building measures. The largest building project is the "Test Center for Support Structures" under construction at Hannover-Marienwerder where IAL is about to erect a 1.2 MW test bench for generator/converter systems. Please refer to page 34 for further details.

There have also been some rebuilding measures at our institute itself: After clearing up the basement to create adequate storage facility for laboratory equipment and converters currently out of use, we could move our electric workshop to a rarely frequented part of our laboratory premises. The vacant room of the former electric workshop could then be changed into a spacious combination of library and meeting room. This measure has not only improved our workshop premises and meeting room facilities, but gave us the possibility to provide 10 new office workplaces for our scientific staff.

Within the last two years, the number of research associates has just slightly increased to 36 members, but will further increase to 40 at the beginning of 2014. Moreover, we have recruited new members for our administrative and technical staff. Details can be found on page 76.

We still consider us as a methodologically positioned institute, being able to cover the whole spectrum of electric drives, ranging from drive concepts, calculation methods for and parasitic effects in electrical machines, interactions in converter-fed drives, control of drives, power electronic circuit topologies to the evaluation and application technology of power semiconductors.

Our activities are focusing in equal shares on drives for industrial and automotive applications as well as on renewable energy related projects. Especially in the last two fields of research, close cooperation could be developed under the umbrella of cross-university research associations, like for example the interdisciplinary Automotive Research Center Niedersachsen (NFF) or the joint Center for Wind Energy Research (ForWind). Our research activities with Fraunhofer-Gesellschaft have been enhanced by cooperation with Fraunhofer Institute for Wind Energy and

Energy System Technology (IWES), Kassel, Germany. Within Leibniz Universität, the Leibniz Research Initiative Energy 2050 initiated by IAL and chaired by Prof. Mertens has been developing into a respectable research center which has recently undergone successful external evaluation.

This development is only possible, because many brilliant and dedicated students are interested in electrical machines and power electronics and find their way to work as a research associate at IAL. The solid basis for a continued positive development is being provided by numerous activities launched by the faculty (cf. page 72) with the aim to stimulate the students' interest for electrical engineering and related courses. Compared to preceding years, the number of first-semester students has stabilized since 2011. In 2013, about 300 new students have enrolled in the bachelor courses Electrical Engineering, Mechatronics and Energy Technology – one further reason to be optimistic about the future.

Hannover, December 2013



Leibniz-Universität hat sich die vom IAL mit initiierte Leibniz-Forschungsinitiative Energie 2050 unter Vorsitz von Prof. Mertens inzwischen zu einem respektablen Forschungszentrum entwickelt, das kürzlich erfolgreich extern evaluiert wurde.

Dies alles ist aber nur möglich, weil sich weiterhin viele gute und engagierte Studierende für elektrische Maschinen und Leistungselektronik begeistern und den Weg als wissenschaftliche Mitarbeiter ans IAL finden. Eine wichtige Basis dafür ist, dass die Anstrengungen der Fakultät, Schüler für das Studium der Elektrotechnik und verwandter Studiengänge zu gewinnen, weiterhin Früchte tragen (einige Beispiele dazu finden Sie auf Seite 72). Die Erstsemesterzahlen haben sich seit 2011 auf einem gegenüber den Vorjahren guten Niveau stabilisiert. In den Bachelorstudiengängen Elektrotechnik, Mechatronik und Energietechnik haben sich in 2013 insgesamt ca. 300 Studierende neu immatrikuliert – ein weiterer Grund, optimistisch in die Zukunft zu schauen.

Hannover, Dezember 2013



Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens

Welfengarten 1
30167 Hannover, Germany

Phone: +49 (0) 511 / 762 - 2471

Fax: +49 (0) 511 / 762 - 3040

E-mail: mertens@ial.uni-hannover.de

**Curriculum Vitae**

- 1982 to 1987 Studies and graduation (Dipl.-Ing.) in Electrical Engineering, RWTH Aachen, Germany
- 1987 to 1992 Research associate at the Institute for Power Electronics and Electric Drives (ISEA) at RWTH Aachen
- 1989 Herbert Kind Award of the ETG (VDE)
- 1989 to 1990 Research associate at the University of Wisconsin at Madison, USA
- 1992 Doctor in Electrical Engineering at RWTH Aachen
- 1992 IEEE IAS IPCC 2nd Prize Paper Award
- 1993 to 2004 Siemens AG at Erlangen and Nürnberg as R&D engineer, manager of converter control development for large drives, and product manager for medium-voltage converters
- 2004 Appointed full professor for Power Electronics at the University of Hannover

Further Activities

- Dean of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Leibniz Universität Hannover
- Chairman of the Leibniz Research Initiative "Energy 2050 – Transformation of the Energy System" founded at Leibniz Universität Hannover
- Head of Department "Converter Technology" within Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology (IWES)
- Head of Electric Drives Group within Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Applied Materials Research (IFAM)
- Associate Editor of the journal "IEEE Transactions on Power Electronics"
- Member of the International Steering Committee in the EPE Association
- Member of the Editorial Board of the journals "European Transactions of Electrical Power" (published by VDE) and "Electrical Engineering" (published by Springer)
- Board Member of Energy Research Centre Lower Saxony (EFZN)
- Chairman of the Division Q1 Power Electronics of the Power Engineering Society ETG (Technical Society of the VDE) until 2012
- Chairman of IEEE IAS/IES/PELS Joint German Chapter until 2012

Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick

Welfengarten 1
30167 Hannover, Germany

Phone: +49 (0) 511 / 762 - 2571

Fax: +49 (0) 511 / 762 - 3040

E-mail: ponick@ial.uni-hannover.de

**Curriculum Vitae**

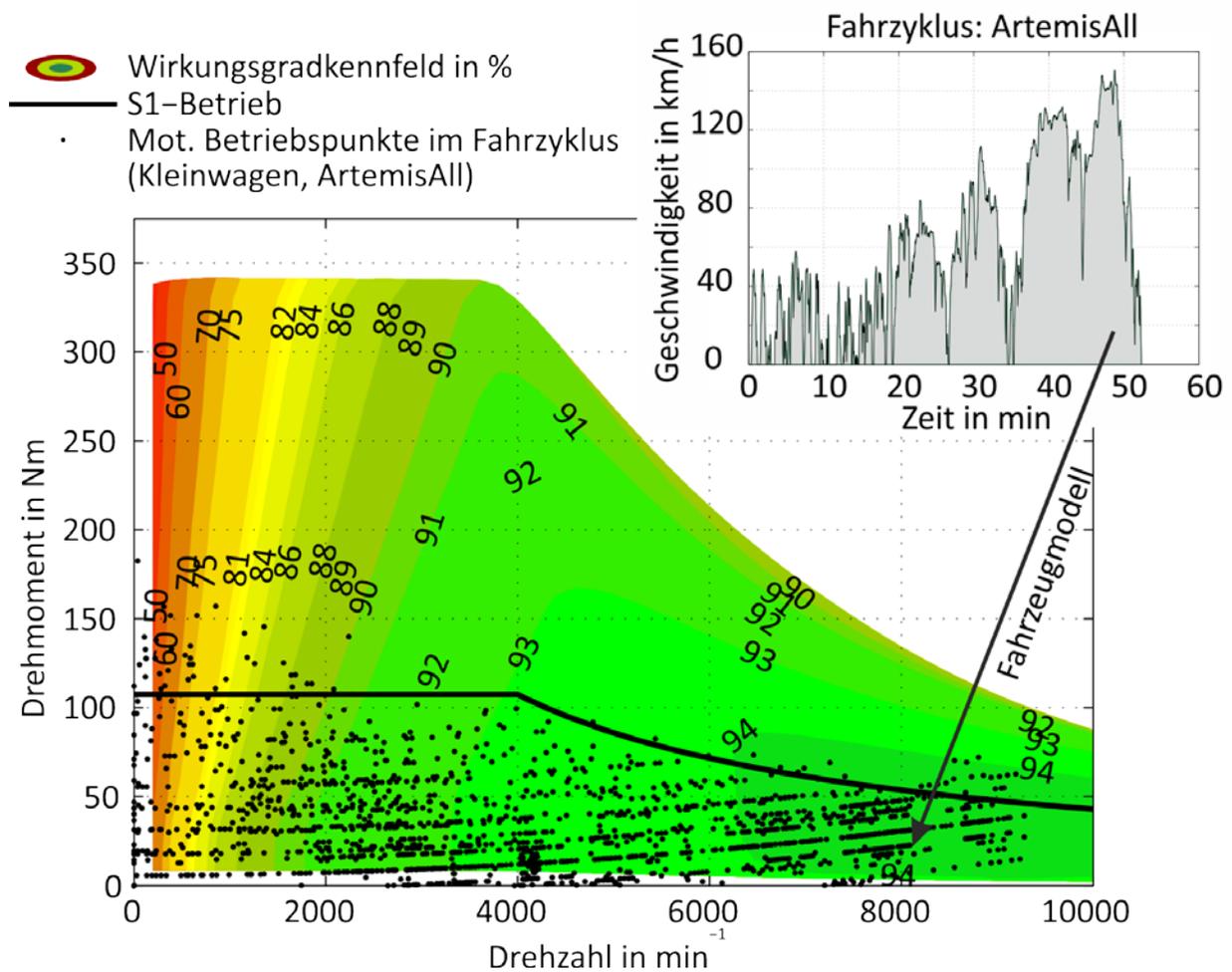
- 1984 to 1990 Studies and graduation (Dipl.-Ing.) in Electrical Engineering/Power Engineering, University of Hannover, Germany
- 1986 Philips Award
- 1990 to 1994 Research associate at the Institute for Electrical Machines and Drives at the University of Hannover
- 1994 Doctor in Electrical Engineering at the University of Hannover
- 1995 to 2003 Design engineer for large variable speed motors at Siemens Dynamowerk Berlin, Head of the Electrical Design and Offer Processing Department, Technical Director
- 2003 Appointed full professor for Drive Systems at the University of Hannover

Further Activities

- Member of K 311 committee "Rotating Electrical Machines" of the DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE
- Chairman of the IEC/TC 2 "Rotating Machinery", being responsible for the international standardization of rotating electrical machines
- Convenor of Working Group 12 and Member of Maintenance Team MT 9 of IEC/TC 2 "Rotating Machinery"
- Member of VDE A1 Group "Electrical Machines and Drives, Mechatronics"
- Member of VDE Technical Committee 3.3 "Electrical Servo Drives"
- Elected Academic Dean for Electrical Engineering and Information Technology at Leibniz Universität Hannover
- Head of Electric Drives Group within Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Applied Materials Research (IFAM)
- Head of Department "Generators and Drive Technology" within Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology (IWES)
- Board member of the Lower Saxony Research Centre for Vehicle Technology (NFF)
- Board member of the Hannover Centre for Mechatronics (MZH)
- Elected member of the German Research Foundation (DFG) Review Board "Electrical Engineering"

Forschung am IAL: Projektberichte

Research at IAL: Project Reports



Wirkungsgradkennfeld einer Induktionsmaschine für den Einsatz als Zentralantrieb im Elektrofahrzeug
 Efficiency map of an induction machine for use as main drive in an electric car

closed-loop sensorless control. Due to current oversampling, the signal-to-noise ratio is considerably improved which is also valid for the rotor position estimation.

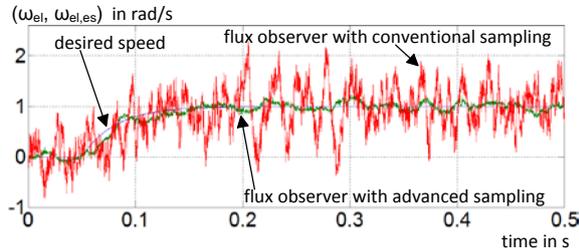


Abb. 2: Drehzahlschätzung: Flussbeobachter mit konventioneller Stromerfassung und Flussbeobachter bei erweiterter Stromerfassung

Fig. 2: Rotational speed tracking: flux observer with conventional sampling and flux observer with advanced sampling

Moreover, it is currently investigated how voltage distortion resulting from the power semiconductor's interlock time (dead-time effect) can be compensated or eliminated for current sensing by means of oversampling.

- [1] Wiedmann, K.
*Positionsgeberloser Betrieb von permanentmagnet-
 erregten Synchronmaschinen*
 LUH, Dissertation, 2012

Dadurch ist es auch möglich, die hochfrequente Spannungsinjektion, welche aus dem Schaltverhalten des Pulswechselrichters entsteht, für eine Rotorlageschätzung zu verwenden. Die dafür benötigten Betriebsbedingungen sind jedoch noch Gegenstand der Forschung.

Es hat sich gezeigt, dass die Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes durch Überabtastung der Stromerfassung den größten technischen Nutzen für das in diesem Projekt betrachtete Antriebssystem mit positionsgeberloser Regelung hat. Beste Eigenschaften für das Gesamtsystem ergeben sich dabei, wenn die Strommesswerte einer Filterung im FPGA unterzogen werden, wobei das Filter jeweils den Mittelwert der Messwerte einer PWM-Periode liefert.

Abb. 2 zeigt ein Simulationsergebnis, wobei die Drehzahlschätzung bei konventionell einfacher Stromabtastung mit der Drehzahlschätzung basierend auf der erweiterten Stromerfassung verglichen wird. Es handelt sich um einen vollständig geberlos geregelten Betrieb. Durch die Überabtastung zeigt sich in der Drehzahlschätzung eine deutliche Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses, was auch für die Rotorlageschätzung gilt.

Als weiterer Aspekt wird gerade untersucht, wie die Spannungsfehler auf Grund der Schaltverzugszeit der Leistungshalbleiter mit Hilfe dieser Überabtastung in der Messung kompensiert bzw. ausgeblendet werden können.

- [1] Wiedmann, K.
*Positionsgeberloser Betrieb von permanentmagnet-
 erregten Synchronmaschinen*
 LUH, Dissertation, 2012

Kontakt:

M. Sc. Bastian Weber
 ☎ +49 (0) 511 / 762 - 19407
 ✉ bastian.weber@ial.uni-hannover.de

Maschinendesign für positionsgeberlose Regelung

von Dipl.-Ing. Francesco Quattrone

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Ableitung übertragbarer Regeln zur Auslegung einer elektrischen Maschine im Hinblick auf eine gute geberlose Regelbarkeit.

Bei der positionsgeberlosen Regelung permanentmagneterregter Synchronmaschinen wird die zur Regelung benötigte Rotorlage aus den elektrischen Klemmengrößen der Maschine bestimmt. Fehleranfällige mechanische Resolver oder Inkrementalgeber können daher in vielen Anwendungen entfallen.

Allerdings ist nicht jede Maschine für die geberlose Rotorlageschätzung geeignet. Insbesondere unterhalb von fünf Prozent der Bemessungsdrehzahl bis zum Stillstand können Probleme auftreten. Hier werden anisotropiebasierte Verfahren genutzt, die die Lageabhängigkeit der transienten Maschineninduktivität durch eine überlagerte hochfrequente Spannungskomponente nutzen (HF-Injektion). Bei der Gestaltung des magnetischen Kreises müssen diese Erfordernisse gezielt berücksichtigt werden, was bisher nicht Stand der Technik ist und eine wichtige aktuelle Fragestellung im Bereich der Industrie- und Traktionsantriebe darstellt. Diese Forschungsarbeiten bauen auf der am IAL entstandenen Dissertation von K. Wiedmann auf, in der die regelungstechnischen Verfahren im Fokus standen und eine Änderung des Maschinendesigns nicht betrachtet wurde.

Die vom elektrischen Rotorwinkel γ_e abhängigen Elemente der vereinfachten Induktivitätsmatrix

$$L_{dq}^s = \begin{bmatrix} \bar{L} + \Delta L \cos(2\gamma_e) + M_{dq} \sin(2\gamma_e) & -\Delta L \sin(2\gamma_e) + M_{dq} \cos(2\gamma_e) \\ -\Delta L \sin(2\gamma_e) + M_{dq} \cos(2\gamma_e) & \bar{L} - \Delta L \cos(2\gamma_e) - M_{dq} \sin(2\gamma_e) \end{bmatrix}$$

werden für die Rotorlageschätzung genutzt. Durch Sättigung können die Induktivitätsdifferenz ΔL und die Gegeninduktivität M_{dq} in bestimmten Lastpunkten zu Null werden und einen unzulässig hohen Rotorlageschätzfehler hervorrufen. Eine unzureichende Berücksichtigung höherer Ordnungen der magnetischen Anisotropie kann außerdem zu harmonischen Schätzfehlern führen.

Die Herleitung auslegungstechnischer Designregeln zur gezielten Beeinflussung der genannten Effekte erfordert eine genauere Kenntnis der Sättigungs- und Streuungseffekte im magnetischen Kreis der Maschine, als dies für übliche

Machine Design for Self-Sensing Control

by Dipl.-Ing. Francesco Quattrone

Goal of this project is to establish principles applicable to design electrical machines with optimum self-sensing capability.

Self-sensing control of permanent magnet synchronous machines is realized by estimating the rotor position. Resolvers or incremental encoders which are prone to error can thus be avoided in many applications.

However, not every type of machine is suitable for sensorless rotor position estimation. Problems might occur especially in the lower speed range (less than 5% of rated speed including zero speed). Here saliency-based methods are more advantageous, using the dependency of the stator inductances on the rotor position by means of HF injection. This demand must be met when designing a magnetic circuit, up to now not state-of-the-art and thus one major challenge in the field of industrial and traction drives. The research work presented here is based on a PhD thesis written by K. Wiedmann at IAL, rather focusing on control methods than on the modification of machine design.

The elements of the simplified inductance matrix

$$L_{dq}^s = \begin{bmatrix} \bar{L} + \Delta L \cos(2\gamma_e) + M_{dq} \sin(2\gamma_e) & -\Delta L \sin(2\gamma_e) + M_{dq} \cos(2\gamma_e) \\ -\Delta L \sin(2\gamma_e) + M_{dq} \cos(2\gamma_e) & \bar{L} - \Delta L \cos(2\gamma_e) - M_{dq} \sin(2\gamma_e) \end{bmatrix}$$

which depend on the rotor position angle γ_e , are used for estimating the rotor position. Caused by saturation effects, the change of inductance ΔL and the mutual inductance M_{dq} can turn to zero for certain load points, thus resulting in unacceptable estimation errors of the rotor position. An inadequate consideration of higher-order magnetic saliencies can additionally lead to harmonic estimation errors.

Establishing design principles for specifically influencing the aforementioned effects requires a more precise knowledge of the saturation and leakage effects in the machine's magnetic circuit, as it is necessary for conventional design approaches. When designing a machine based on a magnetic equivalent circuit with magnetic resistances, a re-evaluation must be made with respect to the new target. So it has to be decided which magnetic resistances can be neglected and which have great

impact.

The approach pursued at IAL closely combines finite element calculation methods with analytical approaches. This simplifies the development of analytical equivalent functions with respect to the saturation behaviour and their usability in real-time operation.

With this method, each superelement of a finite element model represents the smallest modeling element in the magnetic circuit (Fig. 1). The magnetic resistances between each pair of edges of the superelements are evaluated by FEM calculations. Shared edges of two superelements build a node in the magnetic circuit. The resulting circuit is then simplified by neglecting resistances with low flow rate. This automated method guarantees sufficient modeling accuracy. Even a distinction between fundamental and harmonic models is possible by separately impressing magnetic vector potentials of the single field patterns in the air gap.

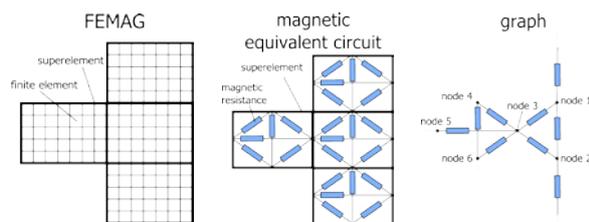


Abb. 1: Erstellung eines magnetischen Ersatznetzwerks

Fig. 1: Creation of a magnetic equivalent circuit

The design principles established in this way are then incorporated into a novel design method, considering the most important machine performance criteria, the control parameters as well as the cost which arise for the drive system.

Auslegungen erforderlich ist. Wird die Maschine auf ein Ersatznetzwerk mit magnetischen Widerständen zurückgeführt, so ist im Vergleich zu bestehenden Modellen u. a. neu zu bewerten, welche magnetischen Widerstände im Hinblick auf das neue Untersuchungsziel vernachlässigbar sind und welche einen großen Einfluss besitzen.

Der Lösungsansatz am IAL zeichnet sich durch eine enge Kombination von Finite-Elemente-Berechnungsverfahren und analytischen Ansätzen aus. Dies vereinfacht die Ableitung analytischer Ersatzfunktionen für das Sättigungsverhalten, die echtzeitfähig verwendbar sind.

In diesem Verfahren repräsentiert jedes Superelement eines Finite-Elemente-Modells die kleinste Modellierungseinheit des Eisenkreises (Abb. 1). Aus FEM-Berechnungen werden die magnetischen Widerstände zwischen jedem Kantenpaar der Superelemente ausgewertet. Gemeinsame Kanten zweier Superelemente bilden einen Knoten im magnetischen Netzwerk. Das daraus entstehende Netzwerk wird anschließend vereinfacht, indem Widerstände mit geringem Flussdurchsatz vernachlässigt werden. Dieses automatisierte Verfahren stellt eine ausreichende Modellierungsgenauigkeit sicher. Auch eine Unterscheidung zwischen Hauptwellen- und Oberwellenmodellen ist durch eine getrennte Einprägung der magnetischen Vektorpotenziale der einzelnen Feldordnungen im Luftspalt möglich.

Die gewonnenen Design-Regeln werden anschließend in eine neuartige Entwicklungsmethodik eingebettet, in der die wichtigsten Kriterien für die Maschinenperformance, die Regelungseigenschaften und die resultierenden Kosten für das Antriebssystem berücksichtigt werden.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Francesco Quattrone

+49 (0) 511 / 762 - 5346

✉ francesco.quattrone@ial.uni-hannover.de

Grenzen der Drehmomentdichte mobiler elektrischer Antriebe

von Dipl.-Ing. Peter Juris

Im Gegensatz zu stationären Industrieantrieben stellen die Größe und Masse des elektrischen Antriebssystems in mobilen Anwendungen ein wesentliches Bewertungskriterium dar. Lösungen für Hybrid- und Elektrofahrzeuge zeichnen sich durch kleine Antriebe mit geringem Gewicht und dennoch hohem Drehmoment aus. Es werden häufig permanentmagneterregte Maschinen in Zahnspulenbauweise eingesetzt, weil diese Maschinen in Bezug auf ihre Drehmomentdichte anderen Maschinenarten und Wicklungsausführungen überlegen sind. Bei hoch ausgenutzten Maschinen hat die Kühlung einen besonders relevanten Einfluss auf die Abmessungen und Verluste des elektrischen Antriebssystems. Fahrzeugantriebe werden meist mit Flüssigkeitskühlung in Form einer Wassermantelkühlung ausgeführt, was zu einer deutlich effektiveren Entwärmung des Motors gegenüber luftgekühlten Maschinen führt. Typischerweise sind mit dieser Technologie dauerhaft Stromdichten von 12 A/mm^2 realisierbar.

Weitere Steigerungen der Drehmomentdichte werden, abgesehen von der Optimierung des elektromagnetischen Entwurfs, durch Verbesserungen auf dem Materialsektor möglich. Durch den kostenintensiven Einsatz von High-End-Materialien lassen sich die maximalen Drehmomente und Wirkungsgrade nochmals steigern. An dieser Stelle sind insbesondere NdFeB-Magnete mit Remanenzflussdichten von bis zu 1,5 T und Elektrobleche aus speziellen Kobalt-Eisen-Legierungen zu nennen. Kobalt-Eisen-Legierungen besitzen, neben einer leichteren Magnetisierbarkeit im linearen BH-Bereich, eine sehr hohe Sättigungspolarisation mit bis zu 2,36 T und übertreffen damit alle anderen weichmagnetischen Werkstoffe.

Luftfahrtanwendungen stellen noch wesentlich höhere Anforderungen an elektrische Antriebslösungen. Die bisher genannten Dimensionierungsaspekte auf dem Materialsektor zielen im Wesentlichen auf die Erhöhung der Luftspaltinduktion. Reicht die so erreichbare Drehmomentdichte nicht aus, ist eine weitere Steigerung nur durch einen wesentlich höheren Strombelag und damit einhergehend nur mit wesentlich höheren Stromdichten erreichbar. Das bedingt wiederum effektivere Kühlkonzepte. Um die dominierenden

Limitations of Torque Density in Mobile Electric Motors

by Dipl.-Ing. Peter Juris

Contrary to stationary industrial drive systems, size and mass are important evaluation criteria for electric drive systems when used in mobile applications. Design solutions for hybrid and electric vehicles rely on small motors with low weight, nonetheless generating high torques. In this context, permanent magnet machines with tooth-wound coils are frequently used, since they are, with respect to their torque density, superior to other machine and winding types. In highly utilized machines, cooling has a very important influence on the dimensions and losses of an electric motor. In most cases, vehicle motors are liquid-cooled using a water jacket which makes them more efficient than air-cooled motors. In general, current densities of 12 A/mm^2 can be realized with this technology.

Apart from optimizing the electromagnetic design, torque density can also be increased by improvements on the material sector. The cost-intensive use of high-end materials further increases the maximum torques and efficiencies. These are especially NdFeB magnets with remanent flux densities up to 1.5 T and electric sheet steel made of specific cobalt-iron alloys. Easy to magnetize in the linear BH range, cobalt-iron alloys have a very high saturation polarization up to 2.36 T which makes them superior to other soft magnetic materials.

Electric drive solutions for aircraft applications pose even greater challenges. The aforementioned dimensioning aspects on the material sector generally aim at increasing the air gap flux density. If the torque density reached is not sufficient, further increase can only be realized via higher electric loading, i.e. considerably higher current densities. This however requires more efficient cooling concepts. In order to reduce the dominant heat transfer resistances between material boundaries, a direct conductor cooling concept is investigated. For this purpose, a cooling fluid is passed through the complete stator of a machine including winding. Since Computational Fluid Dynamics (CFD) approaches have many uncertainties and are extremely time-consuming, experimental measurements were

made at IAL on a modular test setup (Fig. 1).

The specimen is a thermal symmetry unit of a PMSM with four wound teeth. The outer coils are used to impress controlled power, so that the same thermal boundary conditions apply to the inner coil group as to the complete stator (Fig. 2).

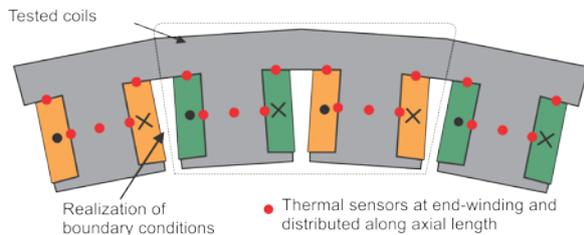


Abb. 2: Prinzipdarstellung des Statorsegments

Fig. 2: Schematic diagram of a stator segment

First measurements confirm the effectivity of the cooling method proposed. Even at moderate cooling fluid flow rates of 2.5 l/min and a stationary fluid temperature of 80°C, winding temperatures of just about 140°C were measured for current densities of 35 A/mm².

thermischen Übergangswiderstände zwischen Materialgrenzen zu verringern, wird eine direkte Leiterkühlung untersucht. Dabei wird der gesamte Ständer der Maschine samt Wicklung von einem Kühlfluid durchflutet. Da die Methoden des Computational Fluid Dynamics (CFD) viele Unsicherheiten aufweisen und extrem zeitintensiv sind, wurde am IAL ein modularer Prüfstand für experimentelle Untersuchungen aufgebaut (Abb. 1).



Abb. 1: Thermische Untersuchungen einzelner Statorsegmente

Fig. 1: Thermal testing of single stator segments

Bei dem Prüfling handelt es sich um eine thermische Symmetrieeinheit einer PMSM, bestehend aus vier bewickelten Zähnen. Die äußeren Spulen werden dazu verwendet, eine geregelte Leistung so einzuprägen, dass sich für die innere Spulengruppe die gleichen thermischen Randbedingungen ergeben wie im vollständigen Stator (Abb. 2).

Erste Messungen belegen die Effektivität der vorgeschlagenen Kühlung. Selbst bei moderaten Durchflussmengen des Kühlfluids von 2,5 l/min und einer stationären Fluidtemperatur von 80°C wurden bei Stromdichten von 35 A/mm² Wicklungstemperaturen von lediglich etwa 140°C gemessen.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Peter Juris
 +49 (0) 511 / 762 - 2407
 ✉ juris@ial.uni-hannover.de

Adaptives Effizienz- und Temperaturmanagement von Antriebssystemen für die Elektrotraktion

von M. Sc. Dennis Kaczorowski

Im Rahmen eines von der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) geförderten Verbundprojektes werden regelungstechnische Möglichkeiten für Elektrofahrzeuge entwickelt und untersucht, um den Energieverbrauch im elektrischen Antriebssystem (Abb. 1) zu senken und die thermische Ausnutzung der Halbleiter in der Leistungselektronik zu steigern.

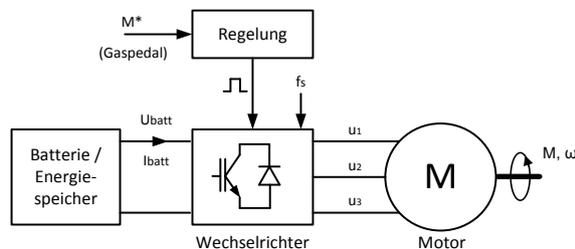


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Antriebssystems für ein Elektrofahrzeug

Fig. 1: Schematic structure of a drive system for use in an electric car

Dafür werden die Freiheitsgrade an der Schnittstelle zwischen der elektrischen Maschine (hier die Induktionsmaschine) und dem Wechselrichter genutzt, um im laufenden Betrieb eine Anpassung der Schaltfrequenz und der Rotorflusshöhe in der elektrischen Maschine vorzunehmen. Eine Anpassung der Rotorflusshöhe führt zu einem geringeren Energieverbrauch im Motor und folglich im gesamten Antriebssystem. Klassische Verfahren mit Kennlinienfeldern können die betriebspunktabhängigen Veränderungen des optimalen Punktes nicht einbeziehen. Daher wird ein hybrides Verfahren angewendet, das durch eine modellbasierte Rotorflussvorgabe einen Startwert für ein Online-Verfahren vorgibt, welches aus der gemessenen Eingangsleistung mit einem Maximum-Power-Point-Tracking (MPPT) den genauen Punkt der minimalen Leistung findet. Mithilfe einer geeigneten Steuerung funktioniert dieses Verfahren auch im dynamischen Betrieb und erfüllt so die Bedingungen für den Einsatz in der Elektromobilität.

Eine Anpassung der Schaltfrequenz im Wechsel-

Adaptive Efficiency and Temperature Management for Electric Traction Drives

by M. Sc. Dennis Kaczorowski

Within the scope of a joint research project funded by the German Research Association for Power Transmission Engineering (FVA), dynamic control methods for application in electric cars are developed and investigated, with the aim to reduce the power consumed by the electric drive system (Fig. 1) and to increase thermal utilization of the semiconductors used in the power electronic equipment.

For this purpose, the degrees of freedom at the interface of electrical machine (here: an induction machine) and inverter are used to adapt the switching frequency and the rotor flux rate while the electrical machine is running.

Correcting the rate of the rotor flux reduces the power consumption of the motor and thus of the complete drive system. With conventional methods based on look-up tables, it is not possible to consider the drift of the optimum point due to temperature rise or other effects. For this reason, a hybrid method is used. Based on a model, the rotor flux is estimated and taken as initial value in an online technique (MPPT = Maximum Power Point Tracking), which identifies the exact point of minimum power based on the measured input power. In combination with an appropriate control, this method is also suitable for dynamic operation, thus meeting the demands of applications in the field of electromobility.

The inverter's switching frequency is adapted during startup or overload, reducing the semiconductors' thermal load and thus improving the expected lifetime/reliability. The junction temperatures of the semiconductors in use are estimated during operation by means of thermal models. From this, the switching instant for the switching frequency is derived according to given parameters. If the switching frequency has already reached its minimum, the thermal behaviour can also be influenced by a current limiter.

Fig. 2 shows an exemplary starting process.

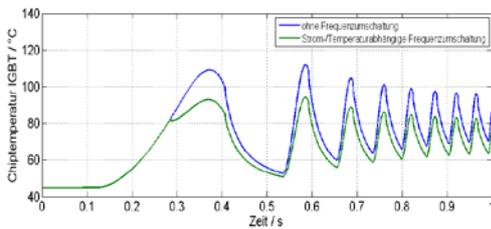


Abb. 2: Anfahrvorgang mit 1,2-fachem Nennstrom. Entwicklung der geschätzten Sperrschichttemperatur (a) mit (b) ohne Frequenzumschaltung

Fig. 2: Starting with 1.2-fold nominal current. Estimated junction temperature (a) with (b) without frequency transition

Both optimization approaches are combined in a joint strategy (Fig. 3).

Efficiency is validated based on driving cycles. According to the New European Driving Cycle (NEDC), power savings of 4.7% were observed in simulations. Measurements showed savings of 15% (Fig. 4), though with a torque proportionally reduced by 40%. Presently it is investigated how to consider further degrees of freedom. With the help of a bidirectional DC/DC converter, a variable DC link voltage shall be realized. Moreover, future research shall focus on alternative modulation methods to reduce switching losses.

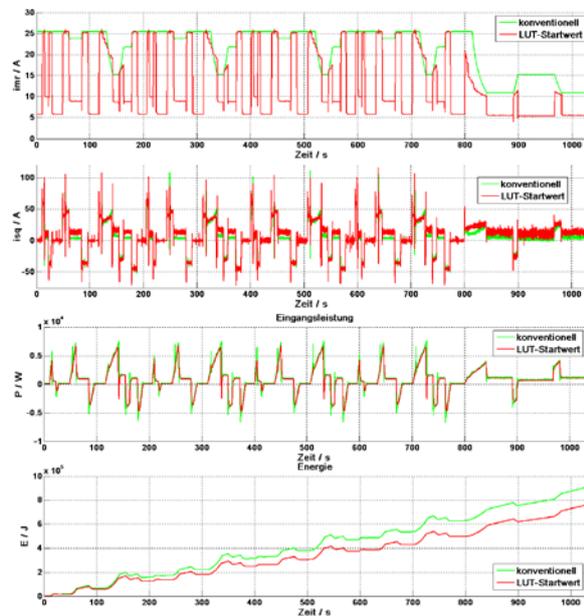


Abb.4: Messtechnische Untersuchung über die Energieeinsparung während eines NEFZ mit 40% reduziertem Drehmoment

Fig. 4: Measurement of energy savings during NEDC with a torque reduced by 40%

richter wird beim Anfahren oder im Überlastbereich durchgeführt. Dadurch wird die thermische Belastung der Halbleiter reduziert und die damit zu erwartende Lebensdauer/Zuverlässigkeit verbessert. Die Sperrschichttemperaturen der laufenden Halbleiter werden durch thermische Modelle im Betrieb geschätzt und daraus nach gegebenen Kriterien der Umschaltzeitpunkt für die Schaltfrequenz bestimmt. Ein weiterer Einfluss auf das thermische Verhalten wird durch eine Strombegrenzung erreicht, sollte sich die Schaltfrequenz schon auf ihrem Minimum befinden. Abb. 2 zeigt hierfür beispielhaft einen Anfahrvorgang.

Beide Optimierungsansätze werden in eine gemeinsame Strategie integriert (Abb. 3).

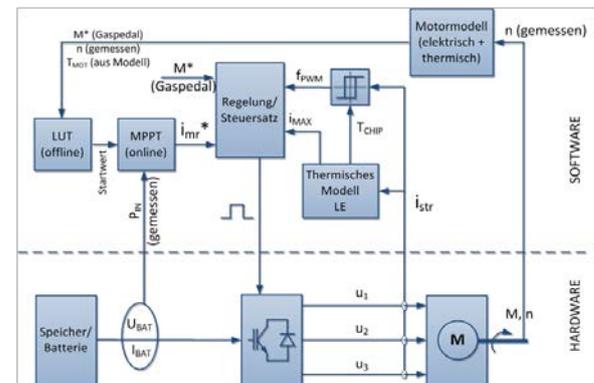


Abb. 3: Schematischer Aufbau des Antriebssystems mit betrieboptimaler Führungsstrategie

Fig. 3: Schematic structure of the drive system with optimum control strategy

Die Wirksamkeit wird anhand von Fahrzyklen validiert. Für den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) konnte in der Simulation ein Einsparpotential von 4,7% der eingesehenen Energiemenge erreicht werden. In der messtechnischen Untersuchung ergab sich eine Einsparung von 15% (Abb. 4), allerdings mit einem proportional reduzierten Drehmoment von 40%. Aktuell werden weitere Freiheitsgrade in die Untersuchung mit einbezogen. Dabei wird mithilfe eines bidirektionalen DC/DC-Wandlers die Möglichkeit einer variablen Zwischenkreisspannung realisiert. Weiterhin sollen alternative Modulationsverfahren zur Verringerung der Schaltverluste Berücksichtigung finden.

Kontakt:

M. Sc. Dennis Kaczorowski
 ☎ +49 (0) 511 / 762 - 3765
 ✉ dennis.kaczorowski@ial.uni-hannover.de

Erstellung und Black-Box-Parametrisierung thermischer Modelle für elektrische Traktionsmotoren

von Dipl.-Ing. Florian Boseniuk

Die Optimierung der Drehmoment- bzw. Leistungsdichte elektrischer Antriebe unter Berücksichtigung realer Fahrzyklen und der gegebenen Anforderungen an Lebensdauer und Zuverlässigkeit erfordert Werkzeuge, die es erlauben, neben dem elektromagnetischen Verhalten auch das transiente thermische Verhalten vorauszurechnen.

Besondere Schwierigkeiten resultieren bei der Parametrisierung der Modelle daraus, dass wichtige Parameter thermischer Modelle wie der Wärmewiderstand zwischen Wicklung und Blechpaket nur experimentell identifizierbar sind, da sie stark von Einzelheiten des Fertigungsverfahrens abhängen. Teilweise besteht auch die Aufgabe, die Eigenschaften von Motoren zu beurteilen, deren Geometrie- und Wicklungsdaten unbekannt sind.

Daher wird das Ziel verfolgt, ein ausschließlich auf Messungen an einem ansonsten unbekanntem Motor basierendes Verfahren (d. h. einen Black-Box-Ansatz) zur Parametrierung eines transienten thermischen Modells für wassermantelgekühlte permanentmagneterregte Synchronmotoren (PMSM) zu entwickeln und die damit verbundene Modellgenauigkeit zu ermitteln.

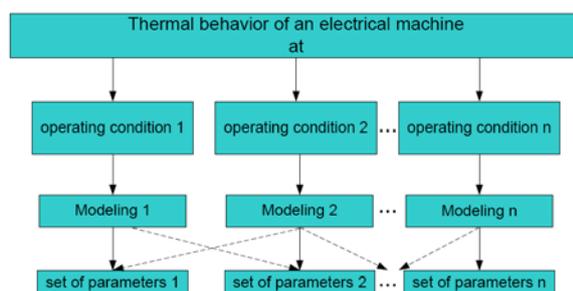


Abb. 1: Schematische Darstellung der Ermittlungsmethodik
Fig. 1: Schematic diagram of identification method

Maschinenprüfungen unter bestimmten Prüfbedingungen, wie beispielsweise der Kurzschluss- oder Leerlaufversuch, können auch zur Identifikation thermischer Parameter sowie der Einzelverluste genutzt werden (Abb. 3). Eine serielle Prüfstrategie mit einem abgestimmten und schrittweisen experimentellen Vorgehen gestat-

Development and Black-box Parameterization of Thermal Models for Electric Traction Motors

by Dipl.-Ing. Florian Boseniuk

Optimizing torque and power density in electric drives, under consideration of real driving cycles and given demands for lifetime and reliability, requires the use of tools which are able to predict electromagnetic as well as transient thermal behaviour.

Particular difficulties in parameterizing models arise from the fact that major thermal model parameters, as for example the thermal resistance between winding and core, can be identified by experiments only, since they strongly depend on the particularities of the manufacturing process. Sometimes it is even asked for evaluating the performance of a motor without any knowledge of its geometry and winding data.

Goal of this research is therefore to develop a method exclusively based on measurements taken on an otherwise unknown motor (black-box approach), in order to parameterize a transient thermal model for water jacket-cooled permanent magnet synchronous motors (PMSM) and determine the related model accuracy.

Machine testing under certain test conditions, as for example short-circuit and no-load test, can also be used to identify thermal parameters and component losses (Fig. 3). Due to the balanced and stepwise serial testing procedure, it is possible to determine all parameters of the thermal equivalent model one after another (Fig. 1). Based on the sets of parameters identified in the single tests, a final overall model (Fig. 2) can then be parameterized.

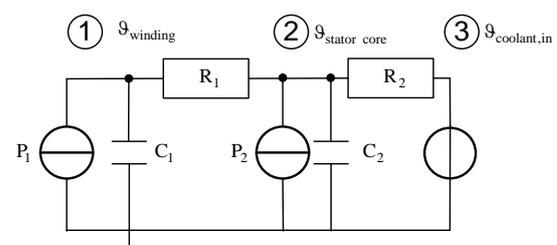


Abb. 2: Thermisches Sechsexparametermodell
Fig. 2: Thermal six parameter model

To verify this approach, the winding temperature curve determined with this model was checked by installing a temperature sensor at the end-winding. The rotor temperature was indirectly calculated based on the EMF. In addition, the coolant flow rate as well as the inlet and outlet temperatures were measured at the test specimen, in order to identify the heat input into the coolant.

With a six parameter model, it is possible to identify the steady-state winding temperature of PMSMs after running at continuous duty (S1) with an average deviation of < 3% (Fig. 4). White-box models with more than 30 parameters reach a deviation between measurement and simulation of < 1%, provided that the thermal resistance between winding and core was determined by mathematical optimization methods or comprehensive sensitivity analyses.

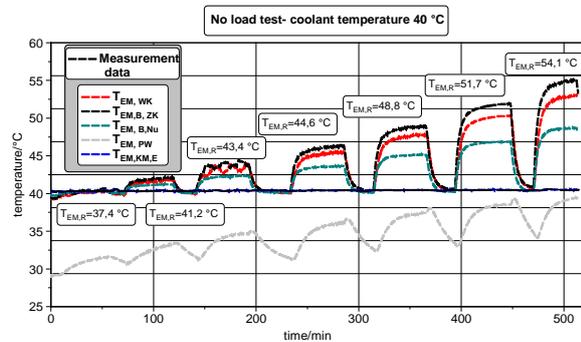


Abb. 3: Temperaturverlauf verschiedener Bauteile der untersuchten Maschine bei konstant gehaltener Kühlmitteltemperatur und unterschiedlicher Drehzahl im Leerlauf

Fig. 3: Temperature curve for different machine components with constant coolant temperature and variable speed running at no load

tet nacheinander die Bestimmung aller Parameter des thermischen Ersatzmodells (Abb. 1). Mit den aus den Einzelversuchen identifizierten Parametersätzen kann schließlich das in Abb. 2 dargestellte Gesamtmodell vollständig parametrisiert werden.

Zur Verifikation dieses Vorgehens wurde der mit diesem Modell ermittelte Verlauf der Wicklungstemperatur mithilfe eines Temperaturfühlers am Wickelkopf überprüft. Die Rotortemperatur wurde indirekt aus der EMK errechnet. Zudem wurden die Kühlmiteleintritts- und austrittstemperaturen sowie die Kühlmittelmenge am Prüfling gemessen, um den Wärmeeintrag in das Kühlmittel zu bestimmen.

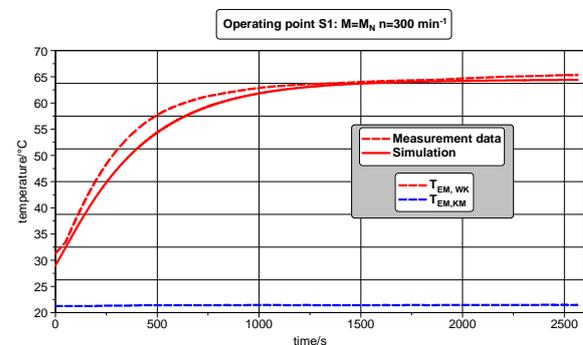


Abb. 4: Vergleich von Messung und Simulation bei Dauerbetrieb (S1)

Fig. 4: Comparison of measurement and simulation at continuous duty (S1)

Mit dem Sechseparametermodell lässt sich die stationäre Wicklungstemperatur der PMSM nach einem Dauerbetrieb (S1) mit einer durchschnittlichen Abweichung < 3% ermitteln (Abb. 4). White-Box-Modelle mit mehr als 30 Parametern erreichen Abweichungen < 1% zwischen Messung und Simulation, sofern der thermische Widerstand zwischen Wicklung und Blech mit mathematischen Optimierungsverfahren oder mit Hilfe von umfangreichen Sensitivitätsanalysen bestimmt worden ist.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Florian Boseniuk
 +49 (0) 511 / 762 - 2896

✉ florian.boseniuk@ial.uni-hannover.de

Berechnung von optimierten $M-n$ -Kennfeldern für Schenkelpolsynchronmaschinen

von Dipl.-Ing. Peter Dück
und M. Sc. Olga Korolova

Aktuell werden als mögliche Antriebsmotoren für Elektrofahrzeuge vor allem permanentmagnet-erregte Synchronmaschinen diskutiert. Aufgrund der hohen und stark volatilen Magnetpreise sucht die Industrie nach preiswerteren und wirtschaftlich berechenbareren Alternativen. Induktionsmaschinen lassen sich vor allem mit Käfigläufern sehr günstig herstellen, aber sie erreichen nicht die hohen Wirkungsgrade von permanentmagnet-erregten Maschinen. Als weitere Alternative wird deshalb die Schenkelpolsynchronmaschine (SPSM) zunehmend interessant.

Die voll automatisierte und zeiteffiziente Ermittlung von Drehmoment-Drehzahl-Kennfeldern ($M-n$ -Kennfeldern) stellt im Berechnungsgang von Traktionsantrieben als Ausgangspunkt für die Ermittlung des Energieverbrauchs im Fahrzyklus eine zentrale Aufgabe dar. Zu diesem Zweck ist im Rahmen einer Masterarbeit eine Programmerweiterung für das am IAL vorhandene, rein analytisch rechnende Programm SPSYN entstanden. Diese Erweiterung – SPOK: Schenkelpolsynchronmaschinen und die Berechnung optimierter Kennfelder – basiert auf einem gekoppelten numerisch-analytischen Ansatz.

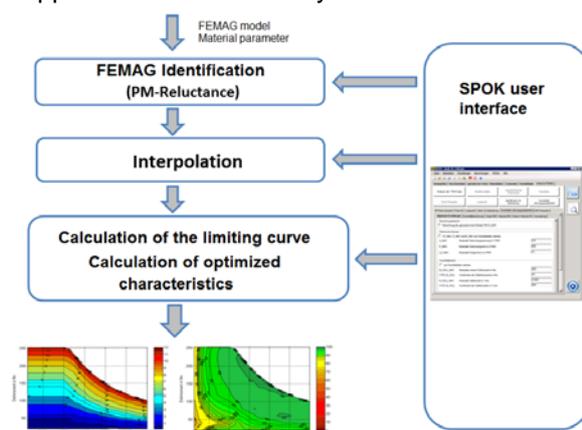


Abb. 1: Rechengang von SPOK

Fig.1: SPOK calculation steps

Der prinzipielle Berechnungsgang ist in Abb. 1 dargestellt.

Calculation of Optimized $M-n$ Characteristics for Salient-pole Synchronous Machines

by Dipl.-Ing. Peter Dück
and M. Sc. Olga Korolova

Permanent magnet synchronous machines are currently discussed as a highly favorable solution for use in electric vehicles. Having to face considerably high and extremely volatile prices for magnetic material, industry is in search of less expensive and economically more calculable alternatives. Especially cage induction machines can be manufactured on a low-cost level, although with lower efficiencies than permanent magnet machines. For this reason, salient-pole synchronous machines (SPSM) are more and more regarded as a promising alternative.

A fully automated and time-efficient identification of speed-torque characteristics ($M-n$ characteristics) is the essential task when calculating traction drives, as it is the basis for determining the amount of energy consumed in a driving cycle. Within the scope of a master's thesis, a program enhancement of the analytical software program SPSYN already existing at IAL was developed. The enhancement – SPOK: Salient-pole synchronous machines and calculation of optimized characteristics – is based on an analytical/numerical calculation approach. The calculation steps are presented in Fig. 1.

Based on SPSYN input data, a finite element model is automatically created in a first step and is then used for a numerical identification with FEMAG-DC. In doing so, a sequence of load points is calculated using the three existing degrees of freedom d- and q-current I_d and I_q as well as the field current I_{fd} . The result is an approximate cubic mesh of operating points. At each load point, the rotor is rotated step by step, and the medium air-gap torque is evaluated. Moreover, the d- and q-axis inductances as well as all saturation-dependent parameters required for analytical calculation of the $M-n$ characteristics, e.g. iron losses separated into hysteresis and eddy-current losses, are identified.

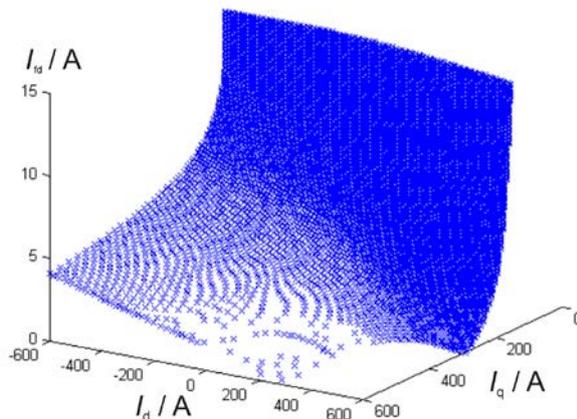


Abb. 2: Isomomentenfläche – grobes numerisch ermitteltes Gitter, interpoliert

Fig. 2: Isotorque surface – numerically calculated approximate mesh, interpolated

In a next step, the numerically calculated mesh is 3D interpolated by cubic splines, creating an isotorque surface for a given torque (Fig. 2). Such surfaces are determined for all torques in question, representing the search space for the calculation of characteristics that follows. Then the desired operating point is determined within a preset current and voltage range. According to

$$P_{v,ges,G} = \sum_n G_n P_{v,n} ; [I_d, I_q, I_{fd}] = \min (P_{v,ges,G})$$

the minimum of the machine's weighted total losses is considered, also including possible converter and exciter losses. Equal weights G_n result in an optimized operational efficiency. If only the I^2R losses in the rotor have a weight unequal zero, just these losses are minimized.

Using this minimum function of weighted losses to determine an operating point also allows, apart from efficiency optimization, to consider for example thermal aspects. For a machine with internal rotor, which is less easy to cool down than the stator, it could for example be advantageous to weight the I^2R rotor losses higher than all other losses.

Im ersten Schritt wird mithilfe eines auf Basis der SPSYN-Eingabedaten automatisch erzeugten Finite-Elemente-Modells eine numerische Identifikation mit FEMAG-DC durchgeführt. Dabei wird eine Reihe von Lastpunkten mit den drei vorhandenen Freiheitsgraden Längs- und Querstrom I_d und I_q sowie Erregerstrom I_{fd} berechnet. Dadurch ergibt sich ein grobes kubisches Gitter von Betriebspunkten. Für jeden Lastpunkt wird der Rotor schrittweise gedreht und das mittlere Luftspaltmoment ausgewertet. Weiterhin werden alle sättigungsabhängigen Parameter, die für die anschließende analytische $M-n$ -Kennfeldberechnung erforderlich sind, wie z. B. die Eisenverluste, aufgeteilt nach Hysterese- und Wirbelstromverlusten, und die Längs- und Querinduktivität identifiziert.

Im nächsten Schritt wird das grobe, numerisch ermittelte Gitter mit kubischen Splines dreidimensional interpoliert. Für ein gegebenes Drehmoment ergibt sich dadurch eine Schnittebene durch den interpolierten Kubus (Abb. 2). Diese Isomomentenflächen werden für alle zu berechnenden Drehmomente bestimmt. Sie stellen den Suchraum für die anschließende Kennfeldberechnung dar. Innerhalb vorzugebender Strom- und Spannungsgrenzen wird nun der gesuchte Arbeitspunkt bestimmt. Dabei wird das Minimum der gewichteten Gesamtverluste in der Maschine, ggf. auch unter Berücksichtigung der Verluste im Umrichter oder der Erregereinrichtung, betrachtet entsprechend

$$P_{v,ges,G} = \sum_n G_n P_{v,n} ; [I_d, I_q, I_{fd}] = \min (P_{v,ges,G})$$

Sind alle Gewichte G_n gleich groß, ergibt sich eine wirkungsgradoptimierte Betriebsführung. Wenn nur die Stromwärmeverluste im Rotor ein Gewicht ungleich Null besitzen, wird ausschließlich dieser Verlustanteil minimiert.

Mithilfe der Suche eines Arbeitspunkts mit einer Minimumfunktion der gewichteten Verluste können neben einer wirkungsgradoptimierten Betrachtung z.B. auch thermische Aspekte berücksichtigt werden. So könnte es von Vorteil sein, wenn bei einer Maschine mit Innenläufer die Stromwärmeverluste im Rotor, welcher schlechter zu erwärmen ist als der Stator, höher gewichtet werden, als die übrigen Verlustanteile.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Peter Dück, M. Sc. Olga Korolova
 ☎ +49 (0) 511 / 762 - 14121; +49 (0) 511 / 762 - 19484
 ✉ peter.dueck@ial.uni-hannover.de
 ✉ olga.korolova@ial.uni-hannover.de

Steigerung der Energieeffizienz durch intelligente Nutzung elektrischer Antriebssysteme

von M. Sc. Jaroslav Koupený,
M. Sc. Dennis Bresemann,
Dipl.-Ing. Cristina Orsini (TFD)

Die energetischen Einsparpotentiale technischer Prozesse, bei denen elektrische Antriebssysteme zum Einsatz kommen, werden am Beispiel eines Prozesskühlsystems untersucht. Im Vordergrund dieser Arbeit, gefördert durch die Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA), steht hierbei die Minimierung der Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Cost, LCC), wobei neben den Investitions- auch die Energie- und Wartungskosten berücksichtigt werden. Zur Beurteilung des Gesamtwirkungsgrades und der Einsparpotentiale wird ein universelles Berechnungswerkzeug in Matlab-SIMULINK entwickelt (Abb. 1), das aus parameterbasierten Bausteinen zusammengesetzt ist und die Modellierung einzelner Teilprozesse ermöglicht, wobei die thermodynamischen mit den antriebstechnischen Einzelkomponenten gekoppelt betrachtet werden.

Das Simulationswerkzeug wurde an einem Prozesskühlsystem für Werkzeugmaschinen messtechnisch validiert. Dieses Prozesskühlsystem besteht aus einem Wasser- und einem Kühlmitteleislauf und weist einen Gesamtbemessungswirkungsgrad η_{gesN} von 78,8% auf. Bei der Berechnung des Gesamtwirkungsgrades wird mitberücksichtigt, dass alle Einzelkomponenten parallel arbeiten, d.h. dass ihre Einzelwirkungsgrade je nach mechanischer Leistung auf die gesamte mechanische Leistung gewichtet werden.

Als Bewertungskriterien der Optimierung dienen nicht nur die Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades und die damit einhergehende Energieersparnis, sondern auch der Zeit- und Kostenaufwand für Wartung und Service sowie die Amortisationszeit für die zusätzlichen Investitionskosten. Der Ausgangspunkt für die Optimierung ist die genaue Kenntnis des Funktionsprinzips und der Arbeitspunkte (AP) der Einzelkomponenten des Gesamtsystems bzw. der größten Energieverbraucher. Für die Berechnung der LCC und des Gesamtwirkungsgrades von drehzahlregulierten Einzelkomponenten müssen die Komponentenwirkungsgrade für alle AP (M/n-Kennfelder) für Maschinen und Frequenzumrichter (FU) be-

Increase in Energy Efficiency through Intelligent Use of Electric Drives

by M. Sc. Jaroslav Koupený,
M. Sc. Dennis Bresemann,
Dipl.-Ing. Cristina Orsini (TFD)

In this paper, the energy savings potential of technical processes using electric drive systems is identified and evaluated exemplarily for a process cooling system. The focus of the research project funded by the German Research Association for Power Transmission Engineering (FVA) is on minimizing life-cycle cost (LCC), considering investment as well as energy and maintenance cost. To evaluate the system's overall efficiency and energy savings potential, a universal simulation tool is developed with Matlab SIMULINK. Its modular parameter-based structure allows the modeling of separate sub-processes, interconnecting the single thermodynamic and drive components (Fig. 1).

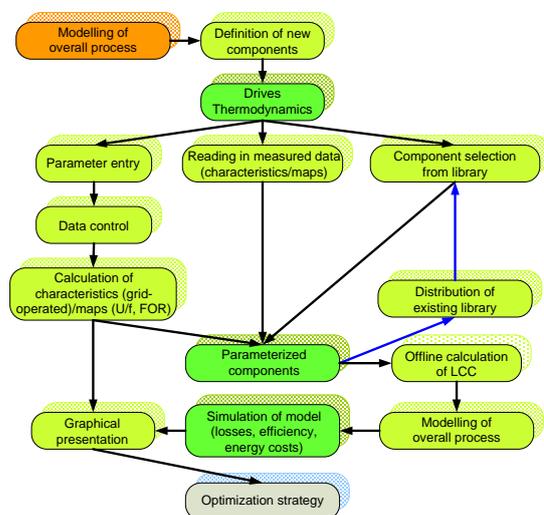


Abb. 1: Struktur des Berechnungswerkzeugs

Fig. 1: Structure of the simulation tool

The simulation tool was validated by measurements for a process cooling system designed for machine tools. The system consists of one water and one coolant circuit with a rated overall efficiency η_{gesN} of 78.8% which considers that all single components work in parallel. This means that depending on the mechanical power, the efficiency of each

component is weighted with respect to the overall mechanical power.

Evaluation criteria for process optimization comprise the increase of the overall efficiency and the respective energy savings potential, time and cost spent for maintenance and service as well as the amortization time for additional investment cost. Process optimization requires a good knowledge of the functional principle and of the operating points of each component which is part of the overall system. To be able to calculate the LCC and overall efficiency for each speed-controlled component, the efficiency of all components at all operating points must be known for machines and frequency converters (M/n characteristics).

Modeling electric drive systems is based on operating point dependent loss calculations to minimize the computing time required for simulating the overall system. Just the quasi steady-state performance is considered; a modeling of the converter's switching behaviour and control does not exist. The motor's temperature-dependent torque characteristic (Fig. 2) indicates which machine operates with which drive system (e.g. grid-operated or closed-loop-controlled pump). This simplification is necessary to minimize the time needed for simulating the superimposed process. This is also valid for loss calculation and the resulting power consumption. Losses are calculated based on quasi steady-state state variables, too.

Comparing the different optimization methods (speed control, component exchange) proved that PMSM drives do not necessarily have to be economically advantageous, even if the overall efficiency ($\eta_{gesN}=91.7\%$) is increased for the respective application. This is due to frequency converter supply in connection with converter losses and the long-lasting amortization time for additional investment cost. PMSMs only prove to be efficient when used in or close to continuous operation.

kannt sein.

Die Modellierung der elektrischen Antriebssysteme basiert auf betriebspunktabhängigen Verlustberechnungen, um den Rechenaufwand für die Simulation des Gesamtsystems zu begrenzen. Es wird nur das quasistationäre Betriebsverhalten betrachtet, und es liegt keine Modellierung des schaltenden Verhaltens des Umrichters und seiner Regelung vor. Welche Maschine in Verbindung mit welcher Ansteuerung (z.B. Netzbetrieb oder geregelter Betrieb einer Pumpe) vorliegt, äußert sich somit in der in Abb. 2 dargestellten temperaturabhängigen Drehmomentkennlinie des Antriebs. Diese Form der Vereinfachung ist zwingend erforderlich, um eine kurze Simulationszeit für den überlagerten Prozess zu ermöglichen. Gleiches gilt für die berechneten Verluste und den sich daraus ergebenden Energieverbrauch. Die Berechnung dieser Verluste erfolgt ebenfalls auf Basis der quasistationären Zustandsgrößen.

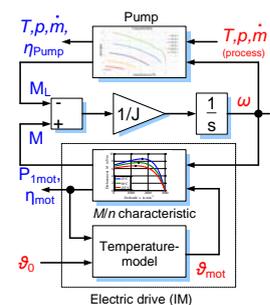


Abb. 2: Struktur zur Simulation des Subsystems „Pumpe“
Fig. 2: Structure for simulating the sub-system “pump”

Bei dem Vergleich der verschiedenen Optimierungsmaßnahmen (Drehzahlregelung, Komponentenaustausch) wurde festgestellt, dass für den betrachteten Einsatzfall Antriebe mit PMSM nicht immer wirtschaftlich sein müssen, obwohl mit ihrem Einsatz immer eine Steigerung der Energieeffizienz erreicht würde ($\eta_{gesN}=91,7\%$). Grund hierfür sind die notwendige Speisung aus einem FU und die damit einhergehenden Umrichterverluste sowie eine lange Amortisationszeit für die zusätzlichen Investitionskosten. Der Einsatz von PMSM erweist sich erst bei Dauerbetrieb als wirtschaftlich.

Kontakt:

M. Sc. Jaroslav Koupený, M. Sc. Dennis Bresemann
☎ +49 (0) 511 / 762 – 14122, +49 (0) 511 / 762 - 2391
✉ jaroslav.koupeny@ial.uni-hannover.de
✉ dennis.bresemann@ial.uni-hannover.de

Design eines elektromagnetisch aktuierten Biegeaktors für die Endoskopie

von Dipl.-Ing. Michael Dörbaum
und Dipl.-Ing. Michael Wöhrmann

Die Kraftübertragung heute eingesetzter flexibler Endoskope wird üblicherweise mittels Bowdenzügen realisiert, wobei die Steuerung über ein doppeltes Drehrad an der dem Patienten zugewandten Seite erfolgt. Die bei der Verwendung eines solchen Endoskops auftretenden Probleme sind unter anderem mögliche Schleifenbildung beispielsweise innerhalb eines verwinkelten Hohlorgans oder auch die ggf. nicht ausreichende Steifigkeit des Endoskops, um die Manipulationskräfte aufnehmen zu können.



Abb. 1: CAD-Modell der Aneinanderreihung mehrerer Kippaktoren mit parallelen Kippachsen

Fig. 1: CAD model of a sequence of tiltable actuators with parallel tilting axes

Als Lösungsansatz für die beschriebenen Unzulänglichkeiten soll im Rahmen eines DFG-Projekts ein elektromagnetischer Aktor nebst dessen Ansteuerung entworfen werden, der in der Lage ist, die Manipulationskräfte aufzunehmen und der darüber hinaus über eine möglichst große Anzahl an Freiheitsgraden verfügt. Um diese Anforderungen erfüllen zu können, entstand das in Abb. 1 dargestellte Konzept für einen elektromagnetischen Biegeaktor. Dieser ist modular aus einer Vielzahl von einzelnen identischen Kippaktoren aufgebaut. Die Einzel-

Design of a Fully Actuated Electromagnetic Bending Actuator for Endoscopic Applications

by Dipl.-Ing. Michael Dörbaum
and Dipl.-Ing. Michael Wöhrmann

Force transmission of today's flexible endoscopes is normally realized via Bowden wires, and a double rotating wheel serves for handling the movable distal end (patient side). The problems going along with the use of flexible endoscopes are for example the tendency of flexible shafts to form loops when moved forward in a narrow hollow organ or a lack of stiffness of the shaft which is required to withstand the manipulation forces acting on the distal end.

As an approach for the aforementioned problems, an electromagnetic actuator including control shall be designed within the scope of a project funded by DFG (German Research Foundation), which on the one hand is able to withstand the manipulation forces and on the other hand offers a large number of degrees of freedom for maximum flexibility. In order to meet these requirements, a concept for an electromagnetic bending actuator was developed, as is shown in Fig. 1. It is of modular design, consisting of numerous individual and identical actuators which can be tilted. Each actuator element has a tilting angle of some degrees and is able to take discrete angular positions. By sequencing and an appropriate arrangement of the tilting directions of the individual elements towards each other, tilting the endoscope in arbitrary directions is possible.

The functioning of the individual actuator elements (Fig. 2) corresponds to the one of an electro magnet and is based on Maxwell boundary forces. As the actuator describes a rotary movement, torques are developed which are calculated by integrating the surface force density and the distance to the axis of rotation over the active surface.

$$M = \iint_A \sigma_n \cdot r \, dA$$

Due to the selected geometrical structure and not clearly defined flux paths, an analytical

calculation of the magnetic circuit can only be realized with difficulties. For this reason, a numerical approach using the 3D FEM software *Maxwell* was selected to calculate the magnetic circuit. The energy required to tilt the actuator is buffered in a capacitor which is then suddenly discharged.

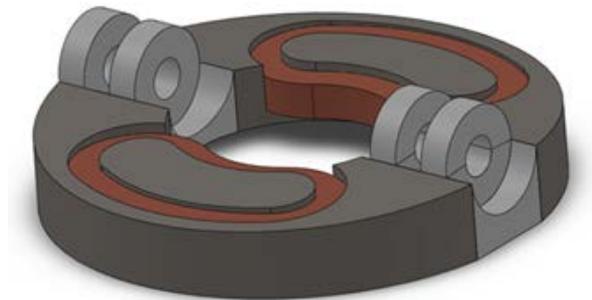


Abb. 2: CAD-Modell einer Aktorhälfte eines einzelnen Aktorelements

Fig. 2: CAD model of one half of an individual actuator element

During the course of the project, several actuator variants have already been developed and constantly been improved based on the findings made. An evaluation model of the first actuator variant shows a good match of the simulation results with those obtained by measurements. A test setup for a newly developed variant is in preparation.

aktoren besitzen jeweils einen Kippwinkel von einigen Grad und können einzeln diskret zwischen ihren beiden Ruhepositionen umgeschaltet werden. Durch eine Aneinanderreihung und geeignete Anordnung der Kipprichtungen der einzelnen Elemente zueinander ist eine Abwinklung des Endoskops in beliebige Richtungen erreichbar.

Die Funktion der Einzelaktoren (Abb. 2) entspricht der eines Elektromagneten und beruht auf den Maxwell'schen Grenzflächenkräften. Da der Aktor eine Drehbewegung ausführt, wirken an ihm Drehmomente, die sich aus dem Integralprodukt aus der Flächenkraftdichte und dem jeweiligen Abstand von der Drehachse über die aktive Fläche ergeben.

$$M = \iint_A \sigma_n \cdot r \, dA$$

Eine analytische Berechnung des Magnetkreises ist aufgrund der gewählten Geometrie und nicht eindeutig definierter Flusspfade nicht ohne weiteres möglich. Daher wurde hier für die Magnetkreisberechnung ein numerischer Ansatz unter Nutzung der 3D-FEM-Software *Maxwell* gewählt. Die für den Kippvorgang kurzzeitig benötigte Energie wird über einen Kondensator bereitgestellt.

Im Laufe des Projektes sind bereits mehrere Aktorvarianten entworfen und anhand der gewonnenen Erkenntnisse weiter verfeinert worden. Von der ersten Aktorvariante wurde bereits ein Funktionsmuster gefertigt, dessen Messungen gut mit den Simulationsergebnissen übereinstimmen. Ein Prüfstand für eine neuere Variante ist in Planung.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Michael Dörbaum

☎ +49 (0) 511 / 762 - 2863

✉ michael.doerbaum@ial.uni-hannover.de

✉ woehrmann@ial.uni-hannover.de

Untersuchung modularer Multilevel-Umrichter

von Dipl.-Ing. Dennis Karwatzki
und Dr.-Ing. Lennart Baruschka

Im Jahr 2010 wurde am IAL ein neuer modularer Multilevel-Umrichter entwickelt. Seitdem finden Untersuchungen zu dieser und ähnlichen Topologien statt. Auf Grund der sechseckigen Form des Schaltbildes in Abb. 1 wurde diese neue Topologie „Hexverter“ genannt [1].

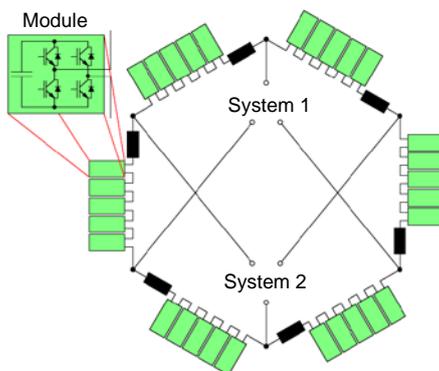


Abb. 1: Hexverter-Topologie

Fig. 1: Hexverter topology

Wie alle modularen Multilevel-Umrichter bietet der Hexverter durch die Reihenschaltung mehrerer identischer Module eine leichte Skalierbarkeit und eine einfache Realisierbarkeit von Schaltungen hoher Leistung und hoher Spannung. Durch zusätzliche Module in den Zweigen ist weiterhin Redundanz erreichbar. Außerdem arbeiten die Module mit einer niedrigen Schaltfrequenz, und der Filterbedarf solcher modularer Multilevel-Umrichter ist durch die Mehrstufigkeit deutlich gesenkt.

Eine große Herausforderung stellt die Regelung der Zweigenergieinhalte derartiger Umrichter dar. Diese wurde beim Hexverter ausführlich untersucht. Außer der Beeinflussung des Gesamtenergieinhalts über die Leistungsbilanz der beiden verbundenen Systeme ist es auch möglich, einen Kreisstrom über die sechs Zweige des Hexverters zu nutzen, der keinen Einfluss auf die Netzströme hat. Durch die Wechselwirkung unterschiedlicher Frequenzanteile eines eingepprägten Kreisstroms mit den Zweigspannungen kann eine gezielte Energieverschiebung zwischen allen Zweigen des Umrichters erfolgen.

Erschwert wird die Energieinhaltsregelung in besonderen Betriebspunkten, wie bei gleichen

Examination of Modular Multilevel Converters

by Dipl.-Ing. Dennis Karwatzki
and Dr.-Ing. Lennart Baruschka

In 2010, a new modular multilevel converter was developed at IAL. Since then, the novel topology is together with similar approaches subject of intense research. Due to its hexagonal configuration (Fig. 1), the topology was called a "Hexverter" [1].

Like in all modular multilevel converters, the series connection of several identical modules in the Hexverter offers an easy scalability and simple feasibility of high-power and high-voltage circuits. Additional modules in the branches provide redundancy. Moreover, the modules operate with low switching frequencies, and the converter's multilevel design considerably reduces the filter demand.

For this converter type, controlling the branches' energy content poses a great challenge which was thoroughly investigated for the Hexverter topology. Besides influencing the overall energy content via the power balance of the two interconnected systems, it is also possible to make use of a circulating current which flows through the six Hexverter branches without affecting the grid currents. Caused by the interaction of different frequency components of an impressed circulating current with the branch voltages, a specific energy shifting among all converter branches can be reached.

Controlling the energy content, however, is difficult at certain operating points, like equal frequencies or zero frequency in one of the systems. For these operating points, the number of possible changes is limited, requiring specific considerations. Research also included such critical operating points, since an operation is possible under certain boundary conditions.

The only direct AC/AC converter presented so far is a Modular Multilevel Matrix Converter (MMMC, Fig. 2). The connection of two three-phase systems can additionally be realized via two Modular Multilevel Converters (M²LC, Fig. 3) coupled on the DC side.

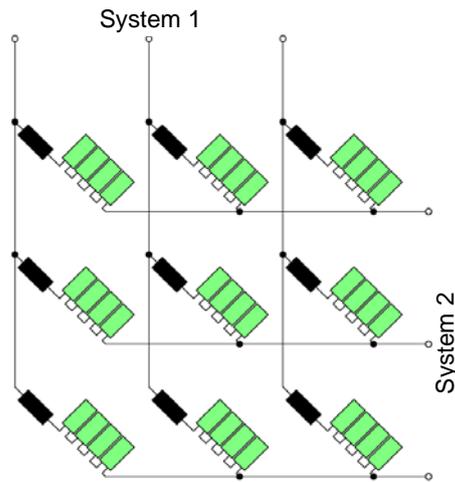


Abb. 2: Modularer Multilevel-Matrixumrichter
 Fig. 2: Modular multilevel matrix converter

A comparison of these two alternatives and the Hexverter was also subject of our research work. Performance indicators were parameters like switching capacity, total performance installed, efficiency and number of modules. The investigation was made using the example of a 15 MW wind turbine. With respect to the number of modules, the Hexverter is more advantageous than the other two topologies. Depending on the Hexverter's operating mode, 50% or 25% less modules are needed compared to the MMMC, and approximately half the number of modules compared to the M²LC configuration. Fig. 4 shows the efficiency and the energy variation of one branch for the aforementioned example, as well as the resulting performance. Hexverter A and Q symbolize the different operating modes of the Hexverter.

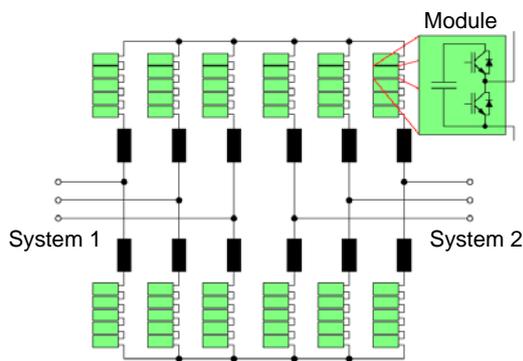


Abb. 3: Modularer Multilevel-Wechselrichter
 Fig. 3: Modular multilevel converter

[1] Baruschka, L.
Untersuchung des modularen Direktumrichters „Hexverter“
 LUH, Dissertation, 2013

Frequenzen oder bei Nullfrequenz in einem der Systeme. In diesen Betriebspunkten ist die Anzahl der Eingriffsmöglichkeiten eingeschränkt, was eine besondere Betrachtung erfordert. Eine Untersuchung erfolgte auch für den Betrieb in solchen Arbeitspunkten, der sich unter bestimmten Randbedingungen als möglich erweist.

Bei dem bisher einzigen weiteren vorgestellten modularen Multilevel-Direktumrichter handelt es sich um den modularen Multilevel-Matrix-Umrichter (MMMC, Abb. 2). Die Verbindung von zwei Drehstromsystemen kann außerdem über zwei auf der Gleichspannungsseite gekoppelte „Modulare Multilevel-Wechselrichter“ (M²LC, Abb. 3) erfolgen. Eine Gegenüberstellung dieser beiden Alternativen und dem Hexverter war ebenfalls Bestandteil der Untersuchungen. Als Leistungsindikatoren für einen Dimensionierungsvergleich wurden Größen wie die Schaltleistung, die gesamte verbaute Kapazität, der Wirkungsgrad und die Modulanzahl verwendet. Eine Beispielanwendung ist eine 15-MW-Windenergieanlage. Hinsichtlich der Modulanzahl ist der Hexverter im Vorteil gegenüber den beiden anderen Topologien. Es werden abhängig von der Betriebsweise des Hexverters 50% bzw. 25% weniger Module als beim MMMC und etwa halb so viele Module wie bei der M²LC-Anordnung benötigt. Abb. 4 zeigt für die genannte Beispielanlage den Wirkungsgrad und die Energieschwankungsbreite eines Zweiges, aus der sich die Kapazität ergibt. Dabei handelt es sich bei Hexverter A und Q um unterschiedliche Betriebsmodi des Hexverters.

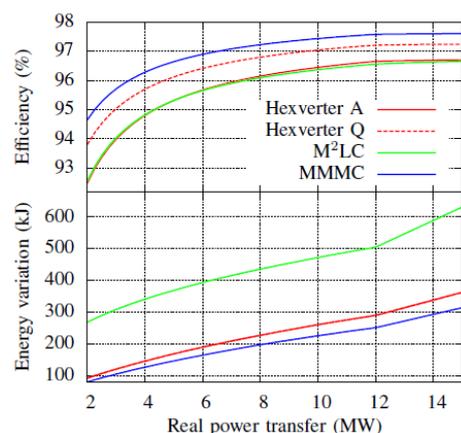


Abb. 4: Wirkungsgrad und Energieschwankungsbreite (ohne Blindleistungen)

Fig. 4: Efficiency and energy variation (without reactive power)

Kontakt:

Dipl.-Ing. Dennis Karwatzki
 +49 (0) 511 / 762 - 4232

✉ dennis.karwatzki@ial.uni-hannover.de
 ✉ baruschka@protolar.de

Messspulensysteme zur Fehlererkennung in Offshore-Windenergieanlagen

von Dipl.-Ing. Henrik Schroeder
und Dipl.-Ing. Meike Wehner

Im Rahmen des Ausbaus der regenerativen Energien gewinnt die Schadensfrüherkennung bei Windenergiegeneratoren an Bedeutung. Insbesondere bei Maschinen mit eingeschränkter Zugänglichkeit wie z.B. bei Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) ist die frühzeitige Erkennung von Fehlern von Interesse, um Folgeschäden und lange Ausfallzeiten zu verhindern.

Alle wesentlichen Arten von Fehlern und Schäden in elektrischen Maschinen haben unmittelbar charakteristische Änderungen des magnetischen Felds im Luftspalt zur Folge. Diese Veränderungen lassen sich nutzen, um mittels Messspulen in den Statornuten einen Fehler über die in den Messspulen induzierte Spannung zu erkennen und die Fehlerart über die Frequenz zu identifizieren. Messspulensysteme eignen sich insbesondere für die Erkennung von Windungsschlüssen und Exzentrizitäten, da diese die Klemmengrößen der Maschine nicht oder nur in geringem Maße beeinflussen und somit schwer von außen zu erkennen sind.

Getriebelose Generatoren in OWEA unterscheiden sich durch ihre hohe Polpaarzahl von den meist niederpoligen Maschinen, für die das beschriebene Diagnoseverfahren in der Vergangenheit untersucht wurde. Sie bedürfen daher einer differenzierten Betrachtung. Für Synchrongeneratoren mit hoher Polpaarzahl sind die bisher üblichen Messspulensysteme nicht erprobt und oft ungeeignet.

Das Ziel einer Messspulenauslegung ist es, die Spulenanlage und -weite so zu wählen, dass der Wicklungsfaktor für die Felder des ungestörten Betriebs (Störfelder im Sinne der Fehlererkennung) sehr gering und der Wicklungsfaktor für die im Fehlerfall zusätzlich auftretenden Felder (Nutzfelder im Sinne der Fehlererkennung) möglichst groß ist. Insbesondere die Induktionswirkung des Hauptfeldes mit seiner großen Amplitude ist vollständig zu unterdrücken. Exzentrizitäten erzeugen vor allem zusätzliche Luftspaltfelder der Polpaarzahl $v' = p \pm 1$. Aufgrund der hohen Polzahl getriebeloser Großgeneratoren ist die relative Polpaarzahldifferenz der Nutz- und Störfelder gering, sodass der resultierende Wicklungsfaktor einer Messwicklung für die Polpaarzahl der Nutz- und der Störfelder nahezu iden-

Search Coil Systems Used for Fault Detection in Offshore Wind Turbines

by Dipl.-Ing. Henrik Schroeder
and Dipl.-Ing. Meike Wehner

Due to the increasing use of renewable energies, early fault detection in wind turbine generators becomes more and more important. Especially in machines with restricted accessibility like offshore wind turbines (OWT), an early detection of faults is necessary to avoid subsequent damages and long down times.

All important types of faults and damages in electrical machines directly lead to characteristic changes in the magnetic air-gap field. These changes can be used to detect a fault by search coils placed in the stator slots based on the voltage induced in them and to identify the type of fault in dependence of the frequency. Search coil systems are especially suitable for the detection of interturn faults and eccentricities, since these faults have no or little influence on the quantities at the terminals of a machine and are therefore not easy to be detected from the outside.

Gearless generators used in OWTs have a high number of pole pairs, differently from the mostly low-pole machines for which the diagnostic method described above was tested in the past. For this reason, they require a more differentiated investigation. Search coil systems used so far are not tested for synchronous generators with high numbers of pole pairs and often prove to be inapplicable.

When designing a search coil, coil position and coil pitch must be selected appropriately: For spatial harmonics in normal operation (disturbance fields in the sense of fault detection) the winding factor must be very low; for spatial harmonics additionally occurring in case of a fault (key fields in the sense of fault detection) the winding factor must be as large as possible. In particular, the inductive effect of the fundamental field with its large amplitude must be suppressed entirely. Eccentricities cause above all additional spatial harmonics in the air-gap field of the number of pole pairs $v' = p \pm 1$. Due to the high number of poles of gearless large-scale generators, the relative difference of the number of pole pairs of key and disturbance fields is low, so that the resulting winding factor of a search coil is nearly identical for the number of pole pairs of

key and disturbance fields. As a consequence, a suppression of disturbance fields and a large winding factor for the key fields are contradictory. This is independent of the design of the search coil system, i.e. it also applies to additional turns connected in series or anti-series.

For machines with a high number of poles, other spatial harmonics of the magnetic field as mentioned before must therefore be selected as key field for fault detection. When search coils, symmetrically distributed along the circumference with a coil pitch equal to the even-numbered multiple of one pole pitch of the fundamental field, are alternately connected in series and anti-series, the inductive effect of the fundamental field is entirely suppressed. In doing so, two to max. four coils equally distributed along the circumference are sufficient to detect eccentricities.

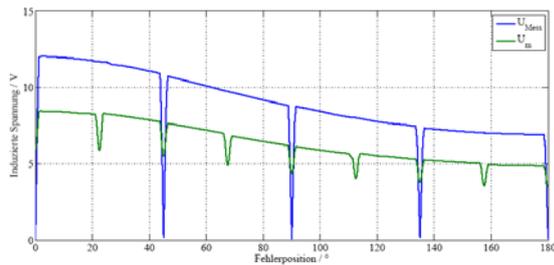


Abb. 1: Induzierte Spannung bei einem Windungsschluss bei 0° mit überlagerter statischer Exzentrizität in Abhängigkeit von der Fehlerstelle

Fig. 1: Voltage induced at interturn fault at 0° with superimposed static eccentricity in dependence of the fault position

Such a search coil however is not suitable for the detection of interturn faults where the change in the air-gap field is restricted to the area around the fault. For this purpose, as many search coils with equal coil pitch symmetrically distributed along the circumference are needed, so that an interturn fault can be detected with sufficient signal-to-noise ratio. Its number can only be determined by quantitative analysis. In order to reduce the local dependence of the interturn fault on the induced voltage especially in case of simultaneous residual static eccentricity, the theory of symmetrical components is used (Fig. 1), as already done in former research projects at IAL. For this purpose, a two-phase search coil system is applied. The second phase is shifted towards the first phase by half the shift angle of the first and second search coil in the first phase. This method allows a safe diagnosis. Detecting both eccentricities and interturn faults in high-pole machines with the same search coil system is not suitable.

tisch ist. Daraus folgt, dass die Unterdrückung der Störfelder und ein großer Wicklungsfaktor für die Nutzfelder im Widerspruch zueinander stehen. Dies gilt unabhängig von der Ausführung des Messspulensystems, d. h. auch bei Reihen- oder Gegenreihenschaltung mehrerer Windungen.

Bei Maschinen mit hoher Polzahl müssen also andere Feldwellen als oben genannt als Nutzfeld für die Fehlererkennung gewählt werden. Werden symmetrisch um den Umfang verteilte Messspulen, deren Weite jeweils dem geradzahigen Vielfachen einer Polteilung des Hauptfelds entspricht, abwechselnd in Reihe bzw. Gegenreihe geschaltet, so wird die Induktionswirkung des Hauptfelds vollständig unterdrückt. Für die Erkennung von Exzentrizitäten reichen auf diese Weise zwei bis maximal vier gleichmäßig am Umfang verteilte Spulen aus.

Eine solche Messwicklung taugt jedoch nicht zur Erkennung von Windungsschlüssen, bei denen die Luftspaltfeldänderung ausschließlich auf den Bereich um die Fehlerstelle beschränkt ist. Dafür werden so viele symmetrisch um den Umfang verteilte Messspulen gleicher Weite benötigt, dass ein Windungsschluss mit ausreichendem Störabstand erkannt werden kann. Wie viele das sind, kann nur durch quantitative Rechnungen ermittelt werden. Um den Einfluss der Lage des Windungsschlusses auf die induzierte Spannung vor allem bei gleichzeitig wirkender statischer Restexzentrizität zu reduzieren, wird, wie schon in früheren Arbeiten am IAL, die Theorie der Symmetrischen Komponenten genutzt (Abb. 1). Dafür ist ein zweisträngiges Messspulensystem erforderlich. Der zweite Messstrang ist gegenüber dem ersten Messstrang um die Hälfte des Versatzwinkels der ersten und zweiten Messspule des ersten Messstrangs verschoben. Auf diese Weise ist zwar eine sichere Diagnose möglich. Das Ziel, mit einem Messspulensystem sowohl Exzentrizitäten als auch Windungsschlüsse in hochpoligen Maschinen zu erfassen, kann jedoch nicht erreicht werden.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Henrik Schroeder, Dipl.-Ing. Meike Wehner
 ☎ +49 (0) 511 / 762 - 2891; +49 (0) 511 / 762 - 3764
 ✉ henrik.schroeder@ial.uni-hannover.de
 ✉ meike.wehner@ial.uni-hannover.de

Fault-Ride-Through-Regelung von Mittelspannungsumrichtern mit LCL-Filter in dezentralen Erzeugungsanlagen

von Dipl.-Ing. Robert Meyer

Die Fähigkeit dezentraler Erzeugungsanlagen, während eines Netzfehlers am Netz zu verbleiben und dieses zu stützen, ist eine wichtige Voraussetzung für ein stabiles Netz. Speziell für Mittelspannungsumrichter mit niedriger Schaltfrequenz ist die als Fault-Ride-Through bekannte Anforderung schwer zu erfüllen.

Bei plötzlich auftretenden Spannungseinbrüchen ist die Dynamik herkömmlicher Netzregelungen normalerweise zu langsam, um unzulässig hohe transiente Umrichterströme, die zur Zerstörung der Leistungshalbleiter führen können, zu vermeiden. Zu diesem Zweck wurde ein prädiktives Regelungsverfahren zur Verbesserung der herkömmlichen PI-Regelung von Mit- und Gegenkomponente im rotierenden dq -System entwickelt. Für den stationären Zustand und bei Änderungen des Sollwerts wird weiterhin die dq -Regelung verwendet. Lediglich bei gravierenden Netzfehlern übernimmt der entwickelte prädiktive Regelungsansatz für wenige Millisekunden die Berechnung der Schaltzustände.

Für die Erkennung eines Netzfehlers wird auf Basis des Bemessungsstroms und des aktuellen Sollwerts des Umrichterstromes ein Grenzwert definiert. Bei einer Verletzung dieses Grenzwerts wird ein Netzfehler erkannt, und die Schaltzustände der prädiktiven Regelung werden verwendet.

Der Grundgedanke einer prädiktiven Regelung ist es, am Anfang einer Abtastperiode die zu erwartenden Strom- und Spannungswerte am Ende des Abtastschrittes für jeden möglichen Schaltzustand des Umrichters zu berechnen. Anschließend wird der Schaltzustand mit der geringsten Abweichung zwischen dem berechneten prädiktierten Wert und dem Sollwert verwendet.

Der prädizierte Umrichterstrom und die Kondensatorspannung des Filters können mit Hilfe der Differentialgleichungen der Filterelemente für jede der drei Phasen berechnet werden. Im Anschluss kann der optimale Schaltzustand mit einer Kostenfunktion ausgewählt werden. Die Güte der prädiktiven Regelung sowie die resultierende mittlere Schaltfrequenz können mit der

Fault Ride-Through Control of Medium-Voltage Converters with LCL Filter in Distributed Generation Systems

by Dipl.-Ing. Robert Meyer

The fault ride-through capability of distributed generation systems is an important factor for the stability of the grid. Especially for medium-voltage converters with low switching frequency, this requirement is difficult to fulfil.

In case of sudden voltage dips, the dynamics of a common grid control is normally too slow to prevent unacceptable converter current transients which can cause a destruction of the power semiconductors. To avoid this, a predictive control strategy is developed to improve the common PI grid current control of the positive and negative sequence in the rotating dq -frame. In steady state and in case of reference value changes, the dq -oriented control is used. Only in case of serious grid faults, the developed predictive control strategy will take over the calculation of the switching states for a few milliseconds.

To detect a grid fault, a converter current limit based on the rated and the actual reference current is defined. In case of current limit violations, a grid fault is detected, and the switching states of the predictive control will be used.

The idea of a predictive control is to calculate at the beginning of a sampling period the expected voltage and current values at the end of the sampling period for every possible switching state of the converter. Afterwards the switching state with the smallest error between the predicted and the reference value will be used.

The predicted converter current and filter capacitor voltage can be calculated by the differential equations of the filter elements for each of the three phases. Afterwards, the optimal switching state can be selected by a cost function.

The quality of the predictive control and the resulting average switching frequency can be influenced with the weighting relation between the converter current and the filter capacitor voltage in the cost function and the sampling frequency of the control. Both factors strongly depend on the system parameters and can be

found empirically by some simulations.

To validate the functionality of the proposed control, a scaled low-voltage system was built up in the laboratory. A block diagram of the setup is given in Fig. 1. In Fig. 2, the measured voltage and current waveforms for a three-phase voltage dip to zero are given. At the beginning of the grid fault, the grid current and the converter current rise until the defined converter current limit is violated. Thereafter, the predictive control takes over the calculation of the switching states, and the converter current is rapidly and accurately limited. After 30 ms, the dq -oriented control for steady state is activated again. The transition between both control methods is soft and without any problems.

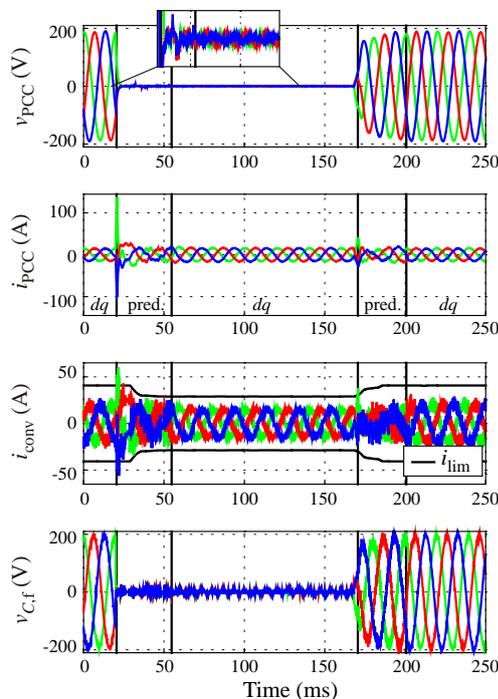


Abb. 2: Gemessene Spannungs- und Stromverläufe bei einem dreiphasigen Spannungseinbruch auf Null unter Verwendung der vorgestellten Kombination von dq -orientierter und prädiktiver Stromregelung

Fig. 2: Measured voltage and current waveforms for a three-phase voltage dip to zero with the proposed combination of dq -oriented and predictive current control

A more detailed description of the proposed fault ride-through control is given in [1].

Gewichtung von Umrichterstrom und Kondensatorspannung in der Kostenfunktion und mit der Abtastfrequenz der Regelung beeinflusst werden. Beide Faktoren hängen stark von den Systemparametern ab und können mithilfe von Simulationen empirisch ermittelt werden.

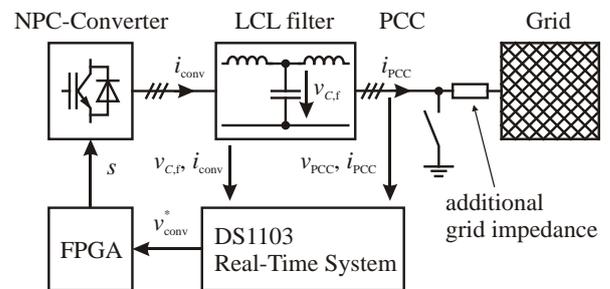


Abb. 1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus
Fig. 1: Block diagram of the laboratory setup

Um die vorgeschlagene Regelung messtechnisch zu validieren, wurde ein skaliertes Niederspannungssystem im Labor aufgebaut. Abb. 1 zeigt die schematische Darstellung des Versuchsaufbaus. In Abb. 2 sind die gemessenen Strom- und Spannungsverläufe bei einem dreiphasigen Spannungseinbruch auf Null dargestellt. Zu Beginn des Netzfehlers steigen Netzstrom und Umrichterstrom, bis der Umrichterstrom den vorgegebenen Grenzwert überschreitet. Danach übernimmt die prädiktive Regelung die Berechnung der Schaltzustände, und der Umrichterstrom wird schnell und genau begrenzt. Nach 30 ms wird die dq -orientierte Regelung für den stationären Betrieb wieder aktiviert. Der resultierende Übergang zwischen den beiden Regelungsverfahren erfolgt weich und problemlos.

Eine detailliertere Beschreibung der vorgestellten Fault-Ride-Through-Regelung ist in [1] zu finden:

[1] Meyer, R.; Zlotnik, A.; Mertens, A. *Fault Ride-Through Control of Medium-Voltage Converters with LCL Filter in Distributed Generation Systems* IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Denver, CO, United States, pp. 1954-1961, 2013

Kontakt:

Dipl.-Ing. Robert Meyer
 ☎ +49 (0) 511 / 762 - 5613
 ✉ meyer@ial.uni-hannover.de

Smart Nord

von Dipl.-Ing. René Dietz
und Dipl.-Ing. Felix Fuchs

Als Mitglied des vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur geförderten Forschungsverbunds „Smart Nord – Intelligente Netze Norddeutschland“ beschäftigt sich das IAL mit der Frage, inwiefern die Regelung von Umrichtern regenerativer Energieerzeuger hinsichtlich ihrer Gesamtdynamik optimiert werden kann. Im Fokus der Untersuchungen steht das Aufzeigen dabei auftretender Betriebsgrenzen [1].

Im Hinblick auf eine Einbindung in eine geplante gesamte Netzsimulation und die dynamische Verbundbildung der Anlagen – beides Forschungsgegenstand anderer Projektpartner – wurden Umrichtersysteme für verschiedene dezentrale Erzeuger ausgelegt, dazugehörige Simulationsmodelle aufgebaut und hinsichtlich ihres statischen und dynamischen Verhaltens analysiert. Die betrachteten Leistungsklassen unterteilen sich in 30kVA, 200kVA und 500kVA für Photovoltaikanlagen (PVA), sowie 500kVA, 2MVA und 5MVA für Windenergieanlagen (WEA).

Statische Betriebsgrenzen können über ein Grundwellenmodell veranschaulicht werden. Die wirksame Induktivität wird vereinfacht als Summe aus Filter-, Zuleitungs- und Streuinduktivität des Transformators angenommen. In Abb. 1 sind Diagramme der 30kVA-PVA mit unterschiedlich wirksamer Induktivität bei Variation der Netzspannung dargestellt.

Für PVAs entstand eine Software, mit der hochauflösende PV-Leistungsverläufe erzeugt werden können. Hierbei kann, von Bestrahlungsverhältnissen und Umwelteinflüssen ausgehend, über Einbeziehung von Modulcharakteristiken die momentane Bestrahlungsstärke bestimmt werden. Diese dient als Eingangsgröße in ein Zeitbereichs-Simulationsmodell, in dem das Verhalten der PV-Module, des MPP-Trackers sowie der jeweiligen Umrichterregelung nachgebildet werden.

Für eine 2-MW-WEA (Abb. 2) wurden ein Zweipunktumrichter, Notch-Netzfilter, Turbinen- und Park-Transformator sowie dazwischenliegende Stromleitungen dimensioniert und die Regelparameter entsprechend des Stands der Technik ausgelegt. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Modellierung der Halteglieder sowie der Spannungsvorsteuerung gelegt.

Smart Nord

by Dipl.-Ing. René Dietz
and Dipl.-Ing. Felix Fuchs

As a member of the research association „Smart Nord – Intelligent Grids Northern Germany“ funded by the Ministry of Science and Culture of Lower Saxony, Germany, the IAL deals with the question how to optimize converter control in renewable power systems with respect to their overall dynamics. In this connection, research especially focuses on the definition of the operational limits [1].

With respect to their later integration into an overall grid simulation and a dynamic interconnection of the power systems – both research topics being investigated by other project partners – converter systems were designed for different decentralized systems. Moreover, the corresponding simulation models were created and analyzed concerning their static and dynamic behaviour. Investigations were made for 30kVA, 200kVA and 500kVA photovoltaic (PV) systems as well as for 500kVA, 2MVA and 5MVA wind turbines (WT).

Static operational limits can be depicted using a fundamental model. In simple terms, the effective inductance is assumed as sum of filter, supply line and leakage inductance of the transformer. Fig. 1 shows diagrams for a 30kVA PV system with different effective inductances for different line voltages.

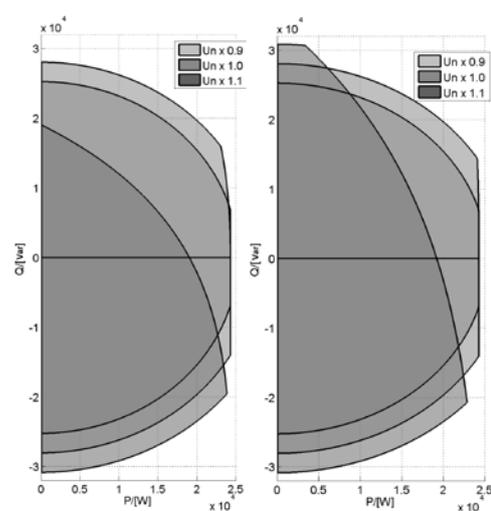


Abb. 1: PQ-Diagramme (l. $L_{res}=1,8\text{mH}$; r. $L_{res}=1\text{mH}$)

Fig. 1: PQ diagrams (l. $L_{res}=1.8\text{mH}$; r. $L_{res}=1\text{mH}$)

For PV systems, a software program was developed with which high-resolution PV power curves can be generated. Considering radiation and environmental conditions as well as module characteristics, the current radiation power can be defined. It serves as input variable for a time domain simulation model, simulating the behaviour of the PV modules, the MPP tracker as well as the respective converter control.

For a 2 MW wind turbine (Fig. 2), a two-level converter, a notch filter, a turbine and a park transformer including supply lines were dimensioned, choosing control parameters which correspond to the state of the art. Special attention was paid to the modeling of holding elements and a voltage feedforward.

It could be proved that only when considering cable capacitances, current control is prone to oscillatory behaviour. Thus no complete decoupling of the current variables can be assumed for this control approach.

Future research work will deal with questions concerning robustness of enhanced control methods, dynamic load distribution and line unbalances.

Es konnte gezeigt werden, dass nur unter Berücksichtigung der Kabelkapazitäten die Stromregelung zu Schwingung neigt und keine vollständige Entkopplung der Stromgrößen bei diesem Regelansatz angenommen werden kann.

In der kommenden Periode werden Fragen zur Robustheit erweiterter Regelverfahren, zur dynamischen Lastenaufteilung und zu Netzunsymmetrien untersucht.

[1] Fuchs, F.; Pham, D. V.; Mertens, A.
Analysis of Grid Current Control in Consideration of Voltage Feedforward and Cable Capacitance Demonstrated on a Fully Sized Wind Turbine Installed in a Wind Park
 IEEE Energy Conversion Congress & Exposition (ECCE), Denver, Colorado, USA, pp. 3325-3332, 2013

Kontakt:

Dipl.-Ing. René Dietz, Dipl.-Ing. Felix Fuchs
 ☎ +49 (0) 511 / 762 - 3758, +49 (0) 511 / 762 - 5347
 ✉ rene.dietz@ial.uni-hannover.de
 ✉ felix.fuchs@ial.uni-hannover.de

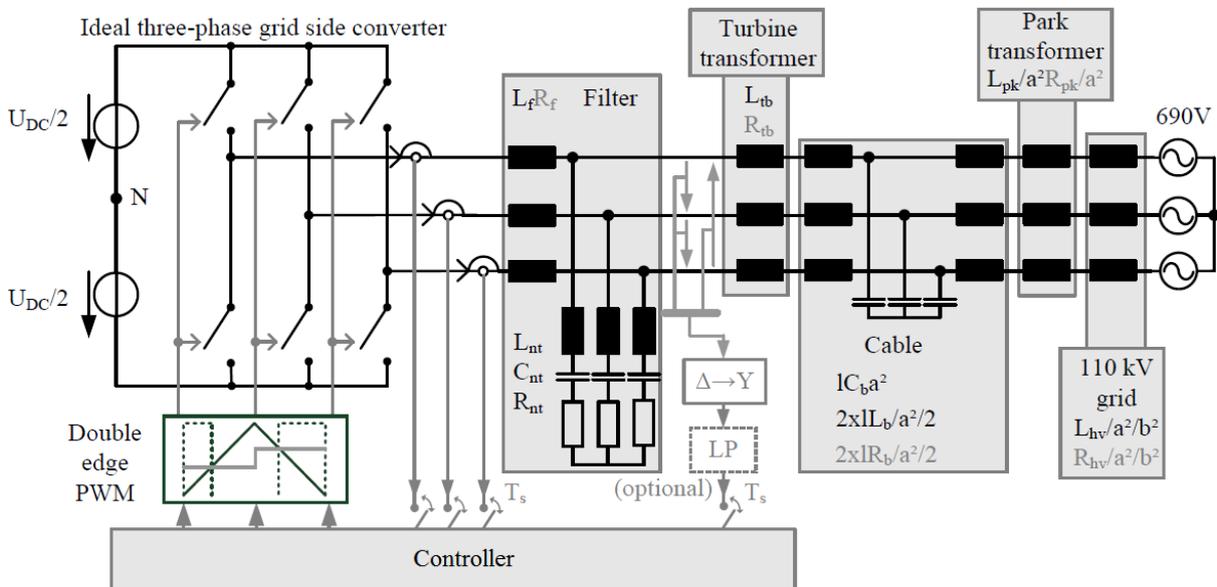


Abb. 2: Zeitbereichs-Simulationsmodell einer 2-MW-Windenergieanlage
 Fig. 2: Time domain simulation model of a 2 MW wind turbine

Das GeCoLab – Prüfstand für Generator- Umrichter-Systeme mit 1,2 MW im Bau

von Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

Die Anforderungen an Generator-Umrichter-Systeme insbesondere bei Windenergieanlagen haben sich in den letzten Jahren gewandelt. Aufgrund des starken Anstiegs der installierten Leistung von dezentralen Energieeinspeisungen wird heute von allen größeren Energieerzeugungsanlagen eine netzstützende Funktion sowie das Durchfahren von Fehlerfällen gefordert. Diese Änderungen wirken sich direkt auf die Wahl des Generator-Umrichter-Systems sowie auf die erforderlichen Steuerungs- und Regelungskonzepte aus.

Gefördert vom BMU, entsteht am IAL deshalb derzeit ein Großprüfstand, mit dem Umrichter- und Generatorkonzepte einschließlich der umrichternahen Regelung in einem Leistungsmaßstab von etwa 1:10 erforscht und erprobt werden können. Dies beinhaltet auch Untersuchungen zur Dynamik und Systemstabilität, zur stationären und transienten thermischen Belastung, zu verschiedenen Methoden der Netzeinspeisung und Regelung sowie des Verhaltens bei Netzfehlern wie z.B. Spannungseinbrüchen, Phasenkurzschlüssen oder Erdschlüssen. Ferner soll mit diesem Prüfstand eine Einrichtung geschaffen werden, mit der die Wechselwirkungen zwischen Umrichter und Generator und deren Einfluss auf andere Anlagenkomponenten wie Lager und Getriebe erforscht werden können. Als Beispiele seien hier die Auswirkungen von Oberschwingungen von Strom und Spannung, zusätzliche Verluste, lokale Sättigungseffekte sowie Lager Spannungen und Lagerströme genannt. Die Verifikation von erweiterten Simulationsmodellen für elektrische und betroffene mechanische Komponenten sowie von Methoden zum Filterdesign stellt einen weiteren Forschungsschwerpunkt dar.

Aufgrund seiner Größe und Leistung wird der Prüfstand nicht direkt am IAL, sondern im Neubau „Testzentrum für Tragstrukturen“ in Hannover-Marienwerder gemeinsam mit zwei weiteren Großprüfständen der Bauingenieure errichtet. Der Bau des Gebäudes begann im Herbst 2012, und seine Fertigstellung ist zum 31. März 2014 vorgesehen. Anschließend beginnt der Aufbau der elektrotechnischen Versuchsausstattung im Wert von etwa 3 Mio €. Der Versuchsbetrieb ist

GeCoLab – 1.2 MW Test Bench under Construction for Generators and Converters

by Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

The demands on generator/converter systems especially when used in wind energy applications have changed during the last years. Due to the vast increase of installed power of distributed energy supplies, today's large-scale wind energy generation systems must imperatively guarantee grid support and fault ride-through. These changes have a direct influence on the choice of the generator/converter system as well as on the control concepts required.

Funded by BMU, a large-scale test facility is under construction at IAL, designed for researching and testing converter and generator concepts including a converter-integrated control on a scale of about 1:10 with respect to power. Possible work also includes investigations on dynamics and system stability, stationary and transient thermal load, various grid supply methods as well as the behaviour in case of grid failures, e.g. voltage dips, phase-to-phase faults or ground faults. Moreover, the interactions between converter and generator and their influence on other system components like bearings and gears shall be investigated. These are e.g. the effects of current and voltage harmonics, additional losses, local saturation effects as well as bearing voltages and currents. The verification of enhanced simulation models for electrical and mechanical components involved as well as filter design methods will also be a subject of research.

Due to its size and performance, the test bench is not erected directly at IAL, but in a newly constructed building, the "Test Center for Support Structures" at Hannover-Marienwerder, and is accompanied by two other large-scale test benches under the guidance of several civil engineering institutes. Construction started in autumn 2012; its completion is planned for 31st March 2014. Then the electrotechnical test equipment worth about 3 million € will be installed. Start of testing is scheduled for end of 2014.

The GeCoLab test hall has a building area of 113 m² and a height of 8.50 m. Two adjacent rooms serve as control and evaluation room

as well as for preparatory work. The test hall entrance's dimensions are 4 m x 4.5 m. That way, large-scale components of up to 20 t can be moved into the hall to be positioned by the hall crane on the span. The span has an area of 10 m x 4.30 m and a net weight of about 70 t. The span is supported by air spring elements with a natural frequency of approx. 2 Hz.

In the original equipment, a high-speed doubly fed induction machine (DFIG) and a low-speed permanent magnet synchronous machine (PMSM) with 690 V each are coupled by an adapter gearing. The machines can be supplied by separate converters. The DFIG is fed by a modified standard wind turbine generator, whereas the PMSM is fed by a high-performance full converter. Using a grid-simulating converter, arbitrary faults can be imposed on the machines and their converters on the grid side. The converter transformers connected downstream are used to improve the voltage curve at the output of the grid simulator. For investigations in a wider frequency range, transformers can also be abandoned, provided that a higher THD is acceptable in this case.

The test bench is designed for a feed-in power of 1.25 MVA. About 20 running meter of switch cabinets required for the converter equipment and two converter transformers will be set up in the test hall. The effective length of power cables (NYCWY 3x185/95 mm²) will amount to approx. 3 km, equal to nearly 25 t copper weight. The system diagram (see Fig.) gives an impression on the universal possibilities offered by the test facility, and this not only for the test machines and converters specifically equipped for testing, but also for specimens, be it machines or converters, provided by customers.

ab Ende 2014 vorgesehen.

Die Versuchshalle des GeCoLab selbst hat eine Grundfläche von 113 m² und eine Höhe von 8,50 m. Zwei benachbarte Räume dienen als Bedien- und Auswerteraum sowie als Arbeitsvorbereitung. Die Versuchshalle kann durch ein Hallentor der Abmessungen 4 m mal 4,5 m befahren werden, um Großkomponenten bis 20 t in die Halle zu bringen und mit dem Hallenkran auf dem Spannungsfeld zu positionieren. Dieses hat eine Fläche von 10 m mal 4,30 m und wiegt allein ca. 70 t. Gelagert wird das Spannungsfeld auf Luftfeder-elementen mit einer Eigenfrequenz von etwa 2 Hz.

In der Erstausrüstung werden eine schnell laufende doppeltgespeiste Induktionsmaschine (DFIG) und eine langsam laufende permanentmagneterregte Synchronmaschine (PMSM) mit jeweils 690 V über ein Anpassgetriebe gekuppelt. Die Maschinen können über separate Umrichter gespeist werden. Ein modifizierter Standard-Windumrichter bedient die DFIG und ein leistungsstarker Vollumrichter die PMSM. Ein netznachbildender Umrichter bietet zudem die Möglichkeit, die Maschinen bzw. deren Umrichter mit beliebigen Fehlern auf der Netzseite zu beaufschlagen. Die nachgeschalteten Stromrichtertransformatoren dienen zur Verbesserung der Spannungskurvenform am Ausgang des Netznachbilders. Besteht der Bedarf an Untersuchungen in einem weiten Frequenzbereich, kann unter Verzicht auf eine geringe THD der Ausgang auch ohne die Transformatoren betrieben werden.

Der Prüfstand erhält eine Einspeiseleistung von 1,25 MVA. In der Prüfhalle werden ca. 20 laufende Meter Schaltschränke für die Umrichtertechnik und zwei Stromrichtertransformatoren untergebracht. Die gestreckte Länge der Leistungskabel (NYCWY 3x185/95 mm²) beläuft sich auf zirka 3 km, entsprechend etwa 25 t Kupfergewicht. Das Systemschaltbild (s. Abb.) vermittelt einen Eindruck von den universellen Möglichkeiten des Prüfstandes über die speziell für den Prüfstandbetrieb instrumentierten Prüfstandmaschinen und Umrichter hinaus für kundenseitige Prüflinge, seien es Maschinen oder Umrichter.

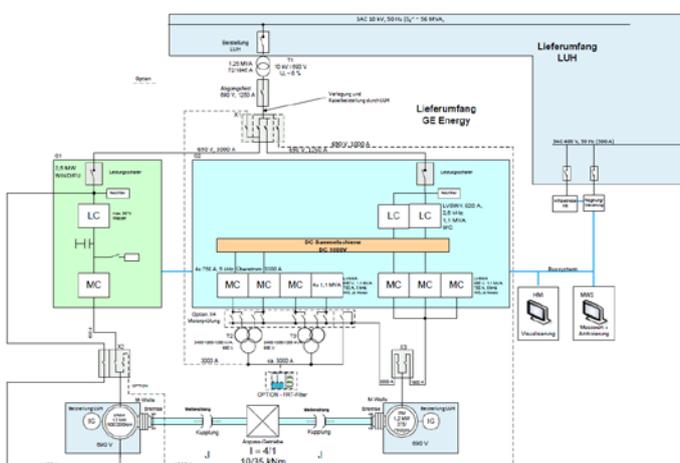


Abb.: Systemschaltbild des GeCoLab

Fig.: GeCoLab system diagram

Kontakt:

Dr.-Ing. Jörn Steinbrink
 ☎ +49 (0) 511 / 762 - 2864
 ✉ steinbrink@ial.uni-hannover.de

Drei Jahre Leibniz Forschungsinitiative Energie 2050 (LFE)

von Dr.-Ing. Volker Schöber

Im November 2013 ist die **Leibniz Forschungsinitiative Energie 2050** drei Jahre alt. Vielfältige Aktivitäten wurden auch in diesem Jahr durchgeführt, die hier ausschnittshaft dargestellt werden.

Zum Anfang des Jahres erfolgte die dritte **Energieforschungsmesse** im Lichthof des Hauptgebäudes. Zum ersten Mal wurde die Veranstaltung gemeinsam mit dem **Zwischenkongress** des Masterplanprojekts für eine klimaneutrale Stadt und Region Hannover in 2050 durchgeführt, um gemeinsam Ideen und Ergebnisse zu Projekten auszutauschen.

Mit der Gründung der LFE wurde auch die **Ringvorlesung „Transformation des Energiesystems“** eingeführt und hat sich nach drei Jahren etabliert.

In 2013 wurde das Richtfest für das **Testzentrum Tragstrukturen (TeTra)** gemeinsam mit dem **Generatorprüfstand (GeCoLab)** gefeiert. Es ist eine europaweit einmalige Großversuchseinrichtung und umfasst im Wesentlichen eine Grundbauversuchsgrube und ein großes Spannungsfeld zur Untersuchung von Tragstrukturen und Generatoren von On- und Offshore-Windenergieanlagen. Es folgt eine Reihe interdisziplinärer Verbundprojekte der LUH, die in 2013 gestartet wurden.

Mit **GIGAWIND life** ist ein Verbundprojekt zur Lebensdauer-Forschung an den OWEA-Tragstrukturen im Offshore-Testfeld alpha ventus gestartet (OWEA: Offshore-Windenergieanlage).

Mit **BEREIT – Bezahlbare elektrische Reichweite durch Modularität** wurde ein Förderprojekt gemeinsam mit Unternehmen und Forschungseinrichtungen gestartet, um mit Hilfe eines modularen und skalierbaren Baukastensystems Plug-In-Hybride zu attraktiven Kosten zu entwickeln.

Quicar Elektrisch ist eins von drei LUH-Projekten im niedersächsischen Schaufenster Elektromobilität. Ziel des Vorhabens ist der Einsatz von Elektroautos beim Car-Sharing durch Identifikation kundenorientierter, energetisch optimaler und wirtschaftlich tragfähiger Betreiber- und Nutzungskonzepte. **Demand Response** ist das zweite Verbundprojekt, in dem das Auto als aktiver Speicher und virtuelles Kraftwerk erforscht wird. **MOBIL4e** ist das dritte Verbundpro-

Three Years of Leibniz Research Initiative Energy 2050 (LFE)

by Dr.-Ing. Volker Schöber

In November 2013, **Leibniz Research Initiative Energy 2050** has its third anniversary. This year's activities are summarized in the following.

At the beginning of 2013, the third **Energy Research Fair** took place in the university's main entrance hall. As a platform for the exchange of ideas and project results, this event was held for the first time together with the **Intermediate Congress** of the master plan project for a climate neutral City and Region of Hannover in 2050.



Abb. 1: Energieforschungsmesse und Zwischenkongress im Februar 2013 mit ca. 600 Teilnehmern

Fig. 1: Energy Research Fair and Intermediate Congress with about 600 participants in February 2013

The **lecture series “Transformation of the Energy System”** introduced three years ago is meanwhile a well-established institution in the education landscape.

Construction of the **Test Centre for Support Structures (TeTra)** and of the **Generator Test Bench (GeCoLab)** started in 2013. The large-scale test facility, unparalleled in Europe so far, offers a foundation test pit and a large span to investigate support structures and generators for on- and offshore wind turbines. Further interdisciplinary joint research projects at LUH have been launched in 2013:

GIGAWIND life is a joint research project dealing with the lifetime of OWT support structures used in the offshore test field alpha ventus (OWT: Offshore Wind Turbine).

BEREIT – Affordable Electrical Range by Modularity is a cooperative research project of industry and research institutions with the aim to develop low-cost plug-in hybrid vehicles based on a modular and scalable system of electric drive train components.

Quicar-electric is the first of three LUH projects within the framework of Lower Saxony's "Showcase Electromobility". Aim of this project is to identify customer-oriented, energetically optimized and profitable e-car sharing concepts.

Demand Response is the second joint research project focusing on cars as active and virtual energy storage systems. **MOBIL4e** is the third joint project launching an education offensive in the metropolitan area with the aim to develop a modular and cross-university training and education program in the field of electromobility.

The cooperative **PhD Program Electromobility** aimed at natural scientists, engineers and economists is a nationwide interdisciplinary PhD program covering five fields of research.

E-Antrieb.Net is meanwhile in its second funding period. Goal is to improve cost efficiency for electric drives, ranging from the production of power train components (battery, power electronics, motor) towards improved material efficiency by reducing for example energy losses through appropriate design and control methods.

Short-term Energy Storage is a joint project dealing with grid energy storage systems and the connection of offshore wind parks. Research focuses on concepts for electric short-term energy storage systems based on double-layer capacitors and batteries to improve grid stability.

In the joint project **Riblets**, the aerodynamic potential of machined riblet structures fabricated by grinding or laser machining is investigated concerning their use in highly stressed axial compressors.

COOREFLEX-turbo deals with the development of innovative turbomachinery to meet the increasing demand for an enhanced flexibility of modern power plants.

The project **ProBeton** focuses on the design of fatigue-resistant concrete foundations for OWTs, component testing of large-size structural cutouts and the investigation of seawater influences.

Looking back on numerous successful research co-operations, LFE is planning to apply for its change into a Leibniz Research Centre in 2014.

jekt, um an den Universitäten und Hochschulen der Metropolregion ein modulares und hochschulübergreifendes Weiterbildungsangebot zu den Themenfeldern der Elektromobilität zu schaffen.

Das kooperative **Promotionsprogramm Elektromobilität** ist ein standortübergreifendes interdisziplinäres Promotionsprogramm zwischen Natur-, Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften in fünf Forschungsgebieten.

E-Antrieb.Net ist mittlerweile in der 2. Förderperiode. Ziel ist es, für Elektroantriebe die Kostensituation zu verbessern. Dazu gehören Themen aus der Produktion von Komponenten des Antriebsstrangs (Batterie, Leistungselektronik, Motor) ebenso wie die Verbesserung der Materialeffizienz, indem beispielsweise die Verlustenergien durch konstruktive oder Steuerungsmaßnahmen verbessert werden.

Ultrakurzzeitspeicher ist ein Verbundprojekt für Energiespeichersysteme im Netz sowie zur Anbindung von Offshore-Windparks. Es werden Konzepte für elektrische Ultrakurzzeitspeicher auf Basis von Doppelschichtkondensatoren und Batterien erforscht, um die Netzwerkstabilität zu erhöhen.

Mit dem Verbundprojekt **Riblets** wird erforscht, wie ein Nachweis des aerodynamischen Potentials von durch Schleifen und Laserabtrag hergestellten Riblets in einem hochbelasteten Axialverdichter geführt werden kann.

Mit **COOREFLEX-turbo** wird die Weiterentwicklung innovativer Turbomaschinen verfolgt, um den wachsenden Ansprüchen an die Flexibilität moderner Kraftwerke zu genügen.

Mit **ProBeton** wird der Entwurf ermüdungsfester Gründungskonstruktionen aus Beton für Offshore-WEAs erforscht, Bauteilversuche an großformatigen Strukturausschnitten sowie die Untersuchung des Meerwassereinflusses durchgeführt.

Aufgrund der erfolgreichen Zusammenarbeit hat sich die LFE zum Ziel gesetzt, den Übergang auf ein Forschungszentrum in 2014 zu planen.



Kontakt:

Dr.-Ing. Volker Schöber

+49 (0) 511 / 762 - 4230

✉ volker.schoeber@energie.uni-hannover.de
www.energie.uni-hannover.de

30 Jahre FEMAG – Bekanntes und Neuheiten

von Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

Die Weiterentwicklung von FEMAG ist auch in Anbetracht des 30-jährigen Jubiläums der FEM-Software weiter in vollem Gange. Gerade in den letzten Jahren kamen zahlreiche neue Funktionalitäten hinzu, die die Berechnung von elektrischen Maschinen erheblich vereinfachen. Von Beginn an wurde die Entwicklung des Programms durch eine praxisgerechte, auf elektrische Maschinen zugeschnittene Berechnung und Analyse auf die Erfordernisse der Anwender ausgerichtet. Daran haben die Anwender mit einer oft intensiven anwendungsbegleitenden Diskussion möglicher Verbesserungen, aber auch durch die Rückmeldung von Problemen mit dem Programm, erheblichen Anteil. So ist aus dem Wirken zahlreicher Personen und dem unermüdlichen Einsatz von Prof. Reichert ein universelles Werkzeug zur numerischen Berechnung jeder Art von elektrischen Maschinen entstanden.

Mit dem seit 2007 jährlich stattfindenden FEMAG-Anwendertreffen haben Prof. Reichert und das IAL ein Austauschforum rund um die numerische Berechnung mittels FEMAG und dessen Einsatz etabliert, das von einer konstant hohen Zahl von knapp 150 Teilnehmern hoch geschätzt wird. Die Vorträge auf den Anwendertreffen beschränken sich nicht im engeren Sinn auf die Arbeit mit FEMAG, sondern stellen auch innovative Konzepte und Anwendungen elektrischer Maschinen, Entwicklungen auf dem Materialsektor und erweiterte, auf FEMAG basierende Berechnungsverfahren dar. Alle Beiträge stehen auf der FEMAG-Homepage www.femag.de zum Download bereit. Abgerundet wurden die Anwendertreffen durch Fachexkursionen zur Vacuumschmelze GmbH 2012 und zur LCD Lasercut AG 2013.

Gefördert durch die gestiegenen Anforderungen an die Drehmomentdichte elektrischer Maschinen und durch Anwendungen in der Elektromobilität entwickelte sich FEMAG von der vorwiegend interaktiven Benutzung, die aber ihre Berechtigung nicht verloren hat, in den letzten Jahren zur Anwendung im halb- oder vollautomatisierten Modus weiter. War bereits zu Beginn des Programms ein automatisierter Betrieb mit Hilfe von Log-Files möglich, ist seit fast 10 Jahren mit der Einführung der FEMAG-Script-Language (fsl) auf Basis von LUA ein weiteres sehr mächtiges Werkzeug zur Automatisierung von FEMAG und

30 Years of FEMAG - New and Proven Features

by Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

Reflecting FEMAGs 30th anniversary, it can be stated that FEM software is and will remain under constant further development. The last years' innovations brought a variety of new functionalities simplifying the calculation of electrical machines to a considerable extent. Right from the beginning, the program development aimed at meeting the users' demands by providing for practice-oriented electrical machine-specific calculations and analyses. This effort was significantly backed up by numerous intensive discussions throughout the application processes on how to implement improvements, if necessary, as well as by returning information on problems which came up with the program. Based on this input made by the various parties involved and the great commitment of Prof. Reichert, a universal numerical calculation tool suitable for any type of electrical machine could be developed.

With the FEMAG user meeting taking place once a year since 2007, Prof. Reichert and IAL established an interchange forum on numerical FEMAG-based calculations and its application which is highly appreciated by a constantly high number of about 150 participants. The presentations held on these user meetings are not only limited to the work with FEMAG, but also cover innovative concepts and applications of electrical machines, developments on the material sector and enhanced FEMAG-based calculation methods. All presentations can be downloaded on the FEMAG website www.femag.de. Recent user meetings were enriched by visits to Vacuumschmelze GmbH in 2012 and to LCD Lasercut AG in 2013.

Due to increased demands on the torque density of electrical machines and being used in applications in the electromobility sector, the interactive use of FEMAG, which still has its merits, has developed towards a half or fully automated program mode during the last few years. At the beginning, the program could be operated automatically via log files. Nearly 10 years ago, another important tool for the automation of FEMAG and its coupling with other programs was developed by the introduction of the FEMAG script language (fsl) based on LUA. While log files map the interactive operation by sequential processing of input data

without allowing any branches and conditional expressions, full programming is achieved with the fsl approach. Additionally to the LUA-specific basic instruction set, a spectrum of FEMAG-specific commands is applied which is under constant further development and enhancement.

During the last years, loss calculation and parameter identification methods, the interface to CAD programs via dxf files, grid generation as well as analysis and output of calculation results have been improved in FEMAG. FEMAG's 3D version developed at TU Darmstadt is nearly completed and will probably be ready for tests in industry from 2014 on. In addition, FEMAG modules for structural-mechanic calculations (FEMAG-ME) and thermal calculations (FEMAG-TH) have been created which are presently tested by some users and will subsequently be released for general use.

Also in the future, FEMAG shall stay a reliable, application-oriented and open system available at a low price. This is the declared goal of all members of the FEMAG team.

zur Kopplung mit anderen Programmen entstanden. Während die Log-Files die interaktive Bedienung mit sequentieller Abarbeitung der Einträge abbilden und keine Verzweigungen und Bedingungen erlauben, ist mit dem fsl-Ansatz eine vollständige Programmierung möglich. Neben dem LUA-Grundbefehlssatz kommt ein Spektrum FEMAG-spezifischer Befehle zur Anwendung, das ständig weiterentwickelt und ergänzt wird.

In den letzten Jahren wurden in FEMAG u. a. Verfahren zur Verlustberechnung und Parameteridentifikation sowie die Schnittstelle zu CAD-Programmen via dxf-Files, die Netzgenerierung und die Analyse und Ausgabe der Berechnungsergebnisse verbessert. Die seit einiger Zeit durch die TU Darmstadt entwickelte 3D-Version von FEMAG ist weitestgehend fertiggestellt und kann voraussichtlich ab 2014 industriell getestet werden. Außerdem wurden FEMAG-Module für strukturelle Berechnungen (FEMAG-ME) und für thermische Berechnung (FEMAG-TH) geschaffen, die bereits seit Ende 2013 von einigen Anwendern einem industriellen Test unterzogen und nach dessen Abschluss allgemein zur Verfügung gestellt werden.

Auch in Zukunft wird FEMAG ein genaues, anwendungsorientiertes, kostengünstiges und offenes System bleiben. Daran arbeitet das gesamte FEMAG-Team.

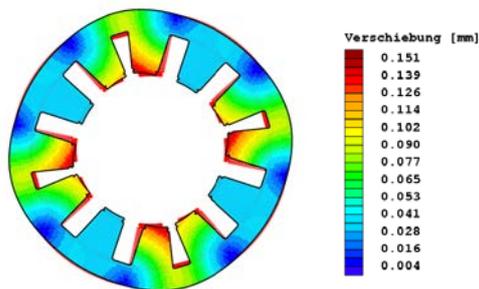


Abb. 2: Darstellung der mechanischen Verschiebungen infolge von tangentialen Zugkräften

Fig. 2: Mechanical displacements caused by tangential Maxwell forces

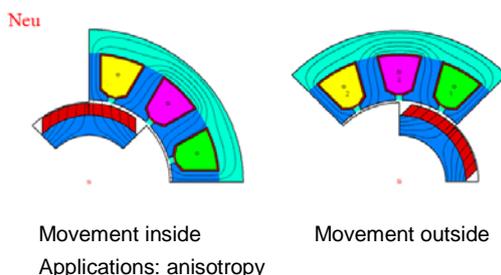


Abb. 3: Verschiedene Bewegungsmöglichkeiten

Fig. 3: Possible movements

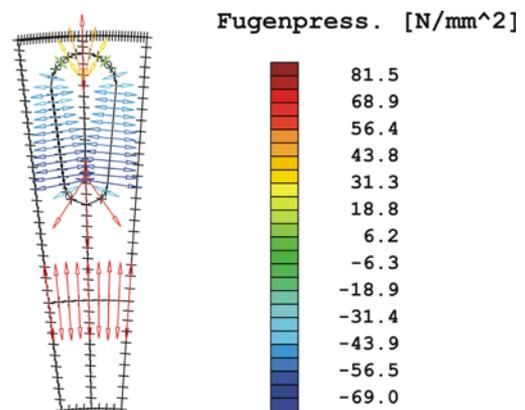


Abb. 1: Darstellung des Ergebnisses einer Schrumpfpresung

Fig. 1: Result of a shrink fit

Kontakt:

Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

+49 (0) 511 / 762 - 2864

✉ steinbrink@ial.uni-hannover.de

HorsePower Hannover

von Lena Harmening (HorsePower)
und M. Sc. Dennis Bresemann (IAL)

HorsePower Hannover e. V. ist seit 2007 das *Formula Student*-Team der Leibniz Universität Hannover, das durch das IAL maßgeblich unterstützt wird. Das Team besteht aus momentan ca. 45 Studierenden aus Elektrotechnik, Maschinenbau, Mechatronik und Wirtschaftswissenschaften. Im internationalen und interdisziplinären Konstruktionswettbewerb *Formula Student* geht es darum, innerhalb eines Jahres einen echten Rennwagen selbst zu entwickeln und zu fertigen. Neben dem Konstruieren und Schrauben gilt es zudem, Sponsoren zu finden, ohne die die Finanzierung und Umsetzung des Projekts nicht möglich wäre. Im Sommer jedes Jahres können sich die Rennwagen dann weltweit auf den Formel-1-Rennstrecken mit den Fahrzeugen konkurrierender Universitäten und Fachhochschulen messen.

Das IAL fördert das HorsePower-Team sowohl mit Rat und Tat bei technischen Fragen als auch durch die Möglichkeit, die Infrastruktur des IAL nutzen zu können. Über die Nutzung von Labor und Gerätschaften hinaus steht ein IAL-Mitarbeiter dem HorsePower-Team auch auf den Renn-Events zur Seite.

Mit dem eH11 baute HorsePower in der Saison 2011 seinen ersten Elektrorennwagen. Zuvor war das Team nur mit Verbrenner-Fahrzeugen am Start. Der für die gerade abgeschlossene Saison gebaute eH13 (Abb. 1) ist bereits der dritte rein elektrisch angetriebene Rennwagen.



Abb. 1: Testfahrt mit dem eH13

Fig. 1: Test run with the eH13

Bei der *Formula Student* geht es nicht nur um die beste Technik und die schnellsten Rundenzeiten,

HorsePower Hannover

by Lena Harmening (HorsePower)
and M. Sc. Dennis Bresemann (IAL)

In 2007, HorsePower Hannover e. V. was formed as the *Formula Student* team of Leibniz Universität Hannover, supported by IAL to a great extent. At present, about 45 electrical and mechanical engineering students as well as mechatronics and economics students are actively participating in the project. Result of this international and interdisciplinary design challenge shall be a true racing car designed and built by the participating students within a year's time. Fund raising is another major challenge of this competition. Every year in summer, universities from across the globe have the opportunity to compete with each other on Formula One race courses all over the world.

IAL supports the Hanoverian HorsePower team not only in technical questions, but also provides the possibility to make use of the institute's infrastructure. Beyond the usage of laboratory premises and equipment, one IAL research associate is actively participating in the HorsePower team, also providing assistance during the race events.

In 2011, HorsePower developed its first electric racing car, the eH11. Previous cars were equipped with internal combustion engines. The last season's eH13 (Fig. 1) is the third all-electric racing car designed by the HorsePower team.

The *Formula Student* challenge focuses not only on dynamic events, i.e. whose equipment and lap time is best, but also on so-called static events. These include the drafting of marketing and business plans with the aim to convince fictitious investors of the presented concept. Moreover, the costs must be listed up in the so-called cost report, and the decisions made throughout the design phase must be presented in the engineering design report.

With the eH13 developed this year, HorsePower Hannover was more successful than ever with one of its electric racing cars. At Hockenheimring (Fig. 2), the team reached the third place in the endurance test, the *Formula Student's* most challenging event. At *Formula Student Germany* which is with 40 electric cars and 75 cars with internal combustion engines the greatest event worldwide, the team could land the seventh place of all electric racing cars.



Abb. 2: Der eH13 beim Skidpad in Hockenheim

Fig. 2: The eH13 tested in a skidpad run at Hockenheim

At the final event of 2013, the *Formula Student Spain* taking place at the Circuit de Catalunya, HorsePower could secure the second place of all electric racing cars, just edged out by the Munich team.

For the year 2014, working on a new electric racing car is going full speed. Compared to recent years, there will be a lot of technical innovations, e.g. the introduction of a four-wheel drive and a carbon fibre monocoque. The team is advancing in great strides towards the new car's presentation scheduled for April 2014.

die in den dynamischen Disziplinen gemessen werden, sondern auch um die sogenannten statischen Disziplinen. Diese fordern dazu auf, für das konstruierte Fahrzeug einen Marketing-Plan zu erarbeiten sowie einen Business-Plan aufzustellen, wobei fiktive Investoren vom erarbeiteten Konzept überzeugt werden müssen. Daneben muss eine Kostenaufstellung für das Fahrzeug, der sogenannte Cost Report, erstellt und die im Laufe der Entwicklung getroffenen Entscheidungen in einem Design Report dargelegt werden.

Mit dem eH13 war HorsePower Hannover in dieser Saison so erfolgreich wie nie zuvor mit einem ihrer Elektro-Rennwagen. Auf dem Hockenheimring (Abb. 2) wurde der 3. Platz im Endurance, der Königsdisziplin der *Formula Student*, erreicht. Insgesamt belegte das Team bei der *Formula Student Germany*, mit 40 Elektro-Teams und 75 Verbrennern das weltgrößte *Formula Student*-Event, den 7. Platz aller Elektro-Rennwagen.

Auf dem Abschluss-Event der Saison 2013, der *Formula Student Spain* auf dem Circuit de Catalunya, belegte HorsePower den 2. Platz aller E-Wagen und musste sich nur knapp dem Team aus München geschlagen geben.

Die neue Saison 2014 hat bereits begonnen, und die Planung und Konstruktion des neuen Elektrorennwagens laufen auf Hochtouren. Es sind viele technische Neuheiten im Vergleich zu den vergangenen Jahren geplant, wie die Einführung eines Allradantriebs und eines Kohlefaser-Monocoques. Mit großen Schritten arbeitet das Team nun auf die Vorstellung ihres Autos im April 2014 hin.

Kontakt:

✉ mail@horsepower-hannover.de
 ✉ dennis.bresemann@ial.uni-hannover.de
www.horsepower-hannover.de

Neuigkeiten bei der Protolar GmbH

von Dr.-Ing. Lennart Baruschka

Seit Ende 2011 ergänzt die Protolar GmbH das Angebot des IAL um Entwicklungsdienstleistungen im Bereich Leistungselektronik. Das Geschäftsfeld schließt Beratung, Schaltungs- und Layout-Entwicklung sowie den elektrischen Test der Prototypen ein. Erste erfolgreich durchgeführte Projekte bestätigen den Bedarf in diesem Umfeld.

Die für die Leistungselektronik notwendigen Regelungssysteme sind der zweite Schwerpunkt der Protolar GmbH. Ab Ende 2013 wird in diesem Bereich ein neues Produkt die Angebotspalette erweitern: Das "FPGA.Comm" genannte Modul bietet durch eine integrierte Kommunikationsschnittstelle zu einem bestehenden Rapid-Prototyping-System die Möglichkeit, zusätzliche digitale Ein- und Ausgänge für dieses Gerät bereitzustellen. Es wird zunächst für Systeme der Firma dSpace verfügbar sein. Der Vorteil des FPGA.Comm-Moduls liegt in der freien Programmierbarkeit des integrierten FPGAs. Hierdurch lassen sich auch proprietäre Protokolle, wie beispielsweise von Analog-Digital-Wandlern, industriellen Sensoren oder Bussystemen, implementieren. Dies ermöglicht die Nutzung der gleichen Sensoren und Aktoren wie im endgültigen Produkt schon während der Entwurfsphase, die Durchführung potentialgetrennter Messungen oder auch die Generierung kundenspezifischer Signale. Ein Anwendungsbeispiel hierfür ist die Änderung der Schalt- und Regelfrequenz eines Wechselrichters im laufenden Betrieb.

Die Protolar GmbH unterstützt Sie auch gern bei der Umsetzung konkreter Mess- und Regelungsaufgaben. Weitere Informationen hierzu erhalten Sie unter www.protolar.de oder im persönlichen Gespräch.

Kontakt:

Dr.-Ing. Lennart Baruschka
 ☎ +49 (0) 151 / 67 71 93 74
 ✉ baruschka@protolar.de

Novelties at Protolar GmbH

by Dr.-Ing. Lennart Baruschka

Since the end of 2011, Protolar GmbH, a spin-off company of IAL, is offering development services in the power electronics sector. The range of services includes consulting, circuit and layout design as well as electrical testing of prototypes. First projects have already been completed with success, reflecting the demand in this particular field.



Abb.: FPGA.Comm einsatzbereit auf einem dSpace-System

Fig.: FPGA.Comm ready for use on a dSpace system

The second focus of Protolar GmbH is laid on control systems required for power electronics. At the end of 2013, a new product will be introduced: the so-called "FPGA.Comm" module. Based on an integrated communication interface connected with an existing rapid prototyping system, the module provides the opportunity to offer supplementary digital in/outputs for this device. For a start, it will be available for dSpace systems. The advantage of the FPGA.Comm module is the free programmability of the integrated FPGAs, allowing for an implementation of proprietary protocols, as for example for analog-to-digital converters, industrial sensors or bus systems. By this means, the same sensors and actuators as later on in the final product can already be used throughout the design phase. Moreover, isolated measurements as well as a generation of customer-specific signals are possible. One imaginable application is for example the changing of switching and control frequency of a converter when operated.

Protolar GmbH would be pleased to support you in mastering your special measurement and control tasks. For further information, please refer to www.protolar.de, and do not hesitate to contact us.

Lehre am IAL

Education at IAL



Vorlesung „Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung“ von Prof. Ponick
Lecture "Basics of Electromagnetical Power Conversion" held by Prof. Ponick

Lehrveranstaltungen

Im Bereich der Lehre hat es in den vergangenen zwei Jahren eine Reihe von Veränderungen gegeben, die teilweise auf die besondere Belastung von Prof. Mertens durch das Amt des Dekans der Fakultät Elektrotechnik und Informatik zurückzuführen sind. So ist die Vorlesung „Datenverarbeitungssysteme“, die Prof. Mertens nach der Pensionierung von Prof. Gerth Übergangsweise übernommen hatte, nun abgekündigt worden. Sie wird durch Prof. Blumes Vorlesung „Grundlagen digitaler Systeme“ ersetzt. In der Vorlesung „Leistungshalbleiter und Ansteuerungen“ wird Prof. Mertens nun durch Herrn Dr. Kanschäta unterstützt, den wir als neuen Lehrbeauftragten gewinnen konnten.

Die Antriebstechnik-Ausbildung der Mechatronik- und der Wirtschaftsingenieurstudenten haben wir zum Wintersemester 2013/14 ganz neu konzipiert: Anstelle der Vorlesungen „Elektrische Antriebstechnik 1 und 2“ werden jetzt zunächst in der Vorlesung „Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung“ von Prof. Ponick der Aufbau und das grundlegende Betriebsverhalten der wichtigsten Arten rotierender elektrischer Maschinen vermittelt, bevor dann in der völlig neu ausgearbeiteten Vorlesung „Elektrische Antriebe“ von Prof. Mertens vor allem praxisnahe antriebstechnische Fragestellungen behandelt werden.

Neu im Vorlesungsangebot des IAL – aber nicht der Leibniz Universität – ist die Veranstaltung „Einführung in das deutsche und europäische Energierecht“, die Herr Dr. Gent in der Vergangenheit im Auftrag der juristischen Fakultät und ab dem Wintersemester 2013/14 nun im Auftrag des IAL hält und die sich bei Jura- und bei Ingenieurstudierenden gleichermaßen hoher Beliebtheit erfreut. Wir freuen uns, dass wir mit Herrn Dr. Gent einen der ausgewiesenen deutschen Spezialisten auf diesem Gebiet für unsere Fakultät gewinnen konnten.

Prof. Huth hat seinen Lehrauftrag zu „Dynamischen Regelantrieben“ nach fast 20 Jahren nun aus persönlichen Gründen beendet. Wir danken ihm herzlich für sein großes Engagement über diesen langen Zeitraum hinweg. Seine Vorlesung war für Generationen von Studierenden eine Bereicherung des Lehrangebots.

Lectures

During the last two years, we have made some adjustments to our curriculum, partly due to the responsibilities going along with Prof. Mertens' appointment as acting Dean of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science. The lecture “Data Processing Systems“, held on an interim basis by Prof. Mertens due to the retirement of Prof. Gerth, will not be continued, being replaced by the lecture “Fundamentals of Digital Systems“ held by Prof. Blume (IMS). The lecture “Power Semiconductors and Gate Drives“ will be held by Prof. Mertens in cooperation with Dr. Kanschäta whom we are pleased to welcome as one of our new external lecturers.

Beginning in winter term 2013/14, mechatronics and industrial engineering students will be presented a new course concept in drive technology: As a replacement for the lectures “Electric Drives 1 and 2“, the lecture “Basics of Electromagnetical Power Conversion“ held by Prof. Ponick will provide basic knowledge on design and performance of the most important types of rotating electrical machines. Based on this knowledge, the fully redesigned lecture “Electric Drives“ held by Prof. Mertens will primarily deal with drive-specific problems, as they appear in practice.

From winter term 2013/14 on, the IAL curriculum will be enhanced by the lecture “Introduction into German and European Energy Law“, already held in the past by Dr. Gent by order of the Faculty of Law. Since the lecture is highly estimated among law as well as among engineering students, we are pleased to welcome Dr. Gent, a highly respected expert on this sector, as new external lecturer in our faculty.

After having lectured “Dynamic Servo Drives“ for nearly 20 years, Prof. Huth has now resigned his lectureship for personal reasons. We would like to express our sincere gratitude for his great commitment over such a long period of time. His lecture was an important enrichment of our curriculum for many student generations.

Energy Technology

(1st term), V2

Contents

Aim of this lecture is to provide power engineering students right at the beginning of their studies with a global overview of the different disciplines in power engineering. For this reason, the lecture is planned as an interdisciplinary series of lectures organized by IAL who also conducts the final exam.

Within the scope of this lecture series, each professor working in the field of power engineering presents his specific discipline. The course thus covers the whole range of power engineering reaching from power plant technologies over turbomachinery and electrical machines to power supplies. The introductory lecture is held by an external lecturer coming from industry.

The lecture series comprises the following individual presentations:

- Overview / primary energy distribution (Dipl.-Ing. M. Kranz, enercity Hannover)
- Power plant technologies (Prof. Scharf)
- Technical combustion (Prof. Dinkelacker)
- Thermodynamics (Prof. Kabelac)
- Turbomachinery (Prof. Seume)
- Electrical machines (Prof. Ponick)
- Power Electronics (Prof. Mertens)
- Process engineering (Prof. Glasmacher)
- High-voltage engineering (Prof. Gockenbach)
- Power supply (Prof. Hofmann)
- Thermal processes (Prof. Nacke)
- Resource-efficient energy use (Prof. Baake)

Energietechnologie

(1. Semester), V2

Inhalt

In dieser Vorlesung sollen die Studierenden im Studiengang Energietechnik gleich zu Beginn ihres Studiums einen Überblick über die Teildisziplinen der Energietechnik erhalten. Die Vorlesung ist deshalb als Ringvorlesung konzipiert. Das IAL übernimmt die Organisation und führt die Abschlussprüfung durch.

Jeder auf dem Gebiet der Energietechnik tätige Professor stellt dabei sein Fachgebiet vor, sodass die gesamte Breite der Energietechnik von der Kraftwerkstechnik über Strömungsmaschinen und elektrische Maschinen bis zum Energieversorgungsnetz behandelt wird. Die Einführungsvorlesung hält ein Gastvortragender aus der Industrie.

Die Veranstaltung besteht aus folgenden Einzelvorträgen:

- Überblick / Primärenergieverteilung (Dipl.-Ing. M. Kranz, enercity Hannover)
- Kraftwerkstechnik (Prof. Scharf)
- Technische Verbrennung (Prof. Dinkelacker)
- Thermodynamik (Prof. Kabelac)
- Turbomaschinen (Prof. Seume)
- Elektrische Maschinen (Prof. Ponick)
- Leistungselektronik (Prof. Mertens)
- Verfahrenstechnik (Prof. Glasmacher)
- Hochspannungstechnik (Prof. Gockenbach)
- Energieversorgung (Prof. Hofmann)
- Thermische Prozesse (Prof. Nacke)
- Ressourcenschonende Energienutzung (Prof. Baake)

Grundlagen der elektromagnetischen Energie-wandlung

(3. Semester), V2, Ü2

Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Inhalt

Arten von Energiewandlern, Überblick über die verschiedenen Ausführungsformen und das Leistungsspektrum von elektrischen Maschinen und ihre wirtschaftliche Bedeutung.

Stationäres Betriebsverhalten von Gleichstrommaschinen: Aufbau, Induktion durch Drehung, Herleitung der Induktionsverteilung im Luftspalt aus Zonenplan, Strombelags- und Felderregerkurve, mechanische Kräfte, Wicklungsarten, Schaltungsarten, Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien, Drehzahlstellung, Kommutierung, Segmentspannungskurve

Verallgemeinerte Theorie von Mehrphasenmaschinen: Überlagerung der Wechselfelder der einzelnen Stränge, Gesetz über die Aufspaltung der Luftspaltleistung, Drehmomentgleichung.

Analytische Theorie von Vollpol-Synchronmaschinen: Aufbau, Ersatzschaltbild, Spannungsgleichung, Leerlauf- und Kurzschluss-Kennlinie, Vorgänge bei der Synchronisation, Betrieb als über- oder untererregter Phasenschieber, Einfluss der Ankerrückwirkung, Zeigerbild, Stromortskurve, Drehmomentgleichung, Grenzen des stabilen Betriebs, Besonderheiten des Motorbetriebs.

Analytische Theorie von Induktionsmaschinen: Aufbau, Ersatzschaltbild, Spannungsgleichungen, Stromortskurve, Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie, Schleifring- und Käfigläufer, Arten von Stromverdrängungsläufern, Erwärmung der Läufer- und Ständerwicklung während Übergangsvorgängen zwischen verschiedenen Betriebszuständen, Einführung in die Stromrichterspeisung, polumschaltbare Motoren, Anlasshilfen und Einphasen-Motoren.

Basics of Electromagnetical Power Conversion

(3rd term), V2, U2

Lecture: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Contents

Types of power converters, overview of different types, power spectrum of electrical machines and their economic significance.

Steady-state performance of DC machines: design, induction via rotation, flux distribution in the air gap derived from winding diagram, distribution of ampere-turns and m.m.f curve; voltage equation; torque equation; types of windings, methods of connection, torque-speed characteristics, speed control, commutation, bar-to-bar voltage.

Generalized theory of polyphase machines: superimposed alternating fields of the single phases, law concerning air-gap power splitting, torque equation.

Analytical theory of synchronous machines with cylindrical rotor: design, equivalent circuit diagram, voltage equation, no load and short-circuit characteristic, synchronization process, over- or underexcited phase shift operation, influence of armature reaction, phasor diagram, current diagram, torque equation, limits of stable operation, special considerations for motor operation.

Analytical theory of induction machines: design, equivalent circuit diagram, voltage equations, current locus diagram, torque-speed characteristic, slip-ring and cage rotors, types of deep-bar cage motors, heating of rotor and stator windings during changing of operating speed, considerations for power converter supply, introduction to pole-changing motors, single-phase motors and starting methods.

Theory of Electrical Machines

(5th term), V2, U1

Lecture: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Contents

Introduction into rotating field theory, harmonic leakage, skewing.

Electromagnetic design of polyphase machines.

Theory of windings: design laws and calculation of winding factors for integer-slot and fractional-slot windings, imbricated windings and change-pole windings; Goerges polygon for determination of the m.m.f. curve and the harmonic leakage coefficient.

Parametric fields based on fluctuations of the magnetic harmonic conductivity of the air gap (e.g. saturation, eccentricity and slotting fields).

Current displacement in rotor cages; field damping by cage and slip-ring rotors; field damping by parallel paths of the stator winding.

Tangential mechanical forces (generation, asynchronous and synchronous harmonic torques); radial mechanical forces (generation of magnetically excited noise and mechanical vibrations, unbalanced magnetic pull and its effect on the lateral critical speed of the shaft).

Design and cooling methods of synchronous machines; performance of salient-pole machines in steady-state operation: phasor diagram, equivalent circuit diagram, locus diagram, voltage equations, Potier diagram, reluctance motors; operation of synchronous generators with unsymmetrical load.

Types of losses; additional losses caused by spatial harmonics.

Berechnung elektrischer Maschinen

(5. Semester), V2, Ü1

Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Inhalt

Einführung in die Drehfeldtheorie (Darstellung der Strombelags- und Feldkurve als unendliche Fourier-Reihen der räumlichen Wellen), zum Begriff der doppeltverketteten Streuung, Schrägung.

Elektromagnetischer Entwurf.

Theorie der Wicklungen: Entwurfsgesetze und Berechnung der Wicklungsfaktoren für Ganzloch- und Bruchlochwicklungen, strangverschachtelte Wicklungen, polumschaltbare Wicklungen, Görge-Diagramme zur Bestimmung der Felderregerkurve und des Koeffizienten der doppeltverketteten Streuung.

Parametrische Felder aufgrund von Leitwertschwankungen (z.B. Sättigungs-, Exzentrizitäts- und Nutungsfelder).

Theorie der Stromverdrängung in Käfigen; Felddämpfung durch Käfig- und Schleifringläufer; Felddämpfung durch parallele Wicklungszweige der Ständerwicklung.

Tangential gerichtete mechanische Kräfte (allgemeines Bildungsgesetz, asynchrone und synchrone Oberwellendrehmomente); Radial gerichtete mechanische Kräfte (Erzeugung des magnetisch erregten Lärms und mechanischer Schwingungen, einseitig magnetischer Zug und sein Einfluss auf die biegekritische Drehzahl der Welle).

Konstruktiver Aufbau und Kühlmethoden von Synchronmaschinen; Betriebsverhalten von Schenkelpolmaschinen im stationären Betrieb: Zeigerdiagramm, Ersatzschaltbild, Stromortskurve, Spannungsgleichungen, Potier-Dreiecke, Reluktanzmotoren; unsymmetrische Belastung von Synchrongeneratoren.

Verlustarten; zusätzliche Verluste durch Oberwellen.

Elektrische Klein- und Servoantriebe *)

(5. bzw. 7. Semester), V2, Ü1

Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Inhalt

Kostengünstige bzw. hochwertige Ausführungen, Übersicht über fremd- und selbstgeführte Motoren, grundsätzliche Konstruktionsmöglichkeiten.

Permanenterregte Gleichstrommotoren: Ausführungen (Walzen-, Scheiben-, Glockenläufer), Anwendungen, Magnetwerkstoffe, Betriebsverhalten, Drehzahlstellung.

Universalmotoren: Aufbau, Anwendungen, Betriebsverhalten, elektrische und elektronische Drehzahlstellung.

Induktionsmotoren: Drehstrommotor (Aufbau, Anwendungen, prinzipielle Wirkungsweise), Wechselstrom-Induktionsmotor (Kondensator-, Widerstandshilfsstrang-, Spaltpolmotor); Drehzahlstellung.

Wechselstrom-Synchronmaschinen: Aufbau (Ständer mit Nuten, ausgeprägten bzw. Klauen-Polen), Motoren mit Magnet- und Reluktanzläufer; Klauenpol-Generatoren (Fahrrad, Kfz).

Grundlagen der Servoantriebe (Gleichstrom-, Induktions- und Synchron-Servomotoren).

*) auch für TU Braunschweig

Small Electrical Motors and Servo Drives *)

(5th or 7th term), V2, U1

Lecture: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Contents

Low-priced and high-quality designs, overview of externally commutated and self-commutated motors, basic design concepts.

Permanent-magnet DC motors: designs (drum-type, disc-type and bell-shaped rotors), applications, magnet materials, performance, speed control.

Universal motors; design, applications, performance, electric and electronic speed control.

Induction motors: three-phase induction motor (design, applications, principle mode of functioning), single-phase induction motor (capacitor motor, resistance and auxiliary winding motor, split-pole motor); speed control.

Single-phase synchronous machines: design (stator with slots, distinct poles or claw poles), motors with permanent-magnet and reluctance rotor; claw-pole generators (for bicycles, motor vehicles).

Basics of servo drives (DC, induction and synchronous servo motors).

*) also held at TU Braunschweig

Small Electronically Controlled Motors

(6th or 8th term), V2, U1

Lecture: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Contents

Basic features and comparison of stepping and B.L.D.C. motors.

Stepping motors: designs (PM, reluctance or hybrid rotor), operating modes, characteristics, control, damping methods, dynamic performance.

B.L.D.C. motors: magnet materials; designs for different number of phases, drum-type and disk-type rotors, motors with slotted stator or air-gap windings, hybrid motors, switched reluctance motors; performance.

Rotor position sensors: incremental and absolute value sensor, magnetic or optic principles of functioning, resolver.

Electronic supply circuits for small machines and actuators: line-commutated converters (uncontrolled rectifiers, half-controlled bridges) and self-commutated converters (DC and AC power controller, phase control)

Types of protection and standards

Procedure and tools for the analysis of small machines (FEM analysis, dynamic simulations)

Elektronisch betriebene Kleinmaschinen

(6. bzw. 8. Semester), V2, Ü1

Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Inhalt

Grundsätzliche Eigenschaften und Vergleich von Schritt- und Elektronik-Motoren.

Schrittmotoren: Ausführungen (Magnet-, Reluktanz-, Hybridläufer), Betriebsarten, Kenngrößen, Ansteuerung, Dämpfungsverfahren, dynamisches Betriebsverhalten.

Elektronikmotoren: Magnetwerkstoffe; Ausführungen mit verschiedenen Strangzahlen, Walzen- und Scheibenläufer, Motoren mit genutetem Ständer oder Luftspaltwicklungen, Hybridmotoren, Switched-Reluctance-Motoren; Betriebsverhalten.

Rotorlagegeber: Inkremental- und Absolutgeber, magnetische oder optische Wirkprinzipien, Resolver.

Elektronische Schaltungen für Kleinmotoren: Netzgeführte Stromrichter (ungesteuerte Gleichrichter, halbgesteuerte Brücken) und selbstgeführte Stromrichter (Gleich- und Wechselstromsteller, Phasenanschnittsteuerung)

Schutzarten und Normen

Berechnungsverfahren und –werkzeuge für Kleinmaschinen (numerische Feldberechnung, Simulation transienter Vorgänge)

Elektrische Antriebs- systeme

(4., 6. bzw. 8. Semester), V2, Ü1
Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Inhalt

Betriebsarten. Berechnungsverfahren zur Bestimmung des äquivalenten Dauerbetriebs.

Möglichkeiten der Drehzahlstellung bei Induktions- und Synchronmotoren; Vergleich bezüglich zusätzlicher Kosten und Verluste, Erzeugung von Pendelmomenten.

Besonderheiten der verschiedenen Antriebsarten beim Einschalten und beim Hochlauf: Betrachtung der Stoßgrößen, der Erwärmung und der Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie einschl. Sattelmomentbildung; Anlasshilfen.

Elektrische Bremsverfahren bei den unterschiedlichen Maschinenarten: Gegenstrombremsen, Gleichstrombremsen, generatorisches Nutzbremsen.

Theorie der stationären Pendelungen von Synchronmaschinen. Stabilitätskriterien und Intrittfallen von Synchronmotoren.

Einführung in die Berechnungsverfahren der symmetrischen Komponenten für Augenblickswerte und der Park-Transformation (Spannungsgleichungen, Augenblickswert des elektromagnetischen Drehmomentes) zur Simulation transienter Vorgänge. Nachbildung des mechanischen Wellenstranges (mehrgliedrige Schwinger, Betrachtungen zur mechanischen Dämpfung), Berücksichtigung der transienten Stromverdrängung.

Ausgleichsvorgänge in Induktionsmaschinen (Einschalten, symmetrische und unsymmetrische Klemmenkurzschlüsse, Spannungs-Wiederkehr, Netzumschaltungen).

Ausgleichsvorgänge in Synchronmaschinen mit Vollpol- oder Schenkelpol-Läufern (Einschalten von direkt am Netz liegenden Motoren, Einfluss der Dämpferwicklung und von Läufer-Anisotropien, symmetrische und unsymmetrische Klemmenkurzschlüsse aus dem Leerlauf oder einem Lastzustand, Fehlsynchronisation). Reaktanzen und Zeitkonstanten von Synchronmaschinen.

Electrical Drive Systems

(4th, 6th or 8th term), V2, U1
Lecture: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Contents

Operating modes. Calculation schemes for determination of the equivalent continuous operation.

Speed control of induction and synchronous machines: comparison with regard to additional costs and losses, generation of pulsation torques.

Special considerations for start-up and acceleration of induction and synchronous motors: inrush characteristics, current and torque peaks, temperature rise during start-up and torque-speed characteristics.

Electric braking methods for induction machines: reverse field braking, DC braking, regenerative braking.

Theory of oscillations of synchronous machines during steady-state operation, stability criteria and pulling in of synchronous motors.

Introduction into the calculation scheme of symmetrical components for instantaneous values and the Park transformation (voltage equations, instantaneous value of electromagnetic torque) for simulation of transient phenomena. Simulation of mechanical shafting, influence of mechanical damping, modeling of transient current displacement in the rotor cage.

Transient phenomena in induction machines (starting, symmetrical and unsymmetrical short circuits, voltage recovery, transfer of bus-bar).

Transient phenomena in synchronous machines with cylindrical or salient-pole rotor (starting of directly mains-operated motors, influence of damper winding design and rotor anisotropies, symmetrical and unsymmetrical short circuits at no-load or under load, incorrect synchronization). Reactances and time constants of synchronous machines.

Details of mechanical design: types of construction and cooling methods, explosion-proof machines, mutual effects of different coupling and bearing assemblies. Calculation scheme for coolant flows and temperature distribution. Studying and evaluation of generated noise.

Konstruktive Einzelheiten: Bauformen und Kühlungsarten, explosionsgeschützte Maschinen, gegenseitige Beeinflussung von Kupplungs- und Lagerungsarten. Verfahren zur Berechnung der Kühlmittelströme und der Temperaturverteilung. Betrachtungen zur Geräuschentwicklung und ihrer Beurteilung.

Leistungselektronik I

(5. Semester), V2, Ü1

Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens

Inhalt

Aufgabe und Prinzip der Leistungselektronik (LE), Anwendungsfelder der LE, Bauelemente der LE, Verlustleistung und Kühlung.

Netzgeführte Stromrichter: Gesteuerte und ungesteuerte Gleichrichter für Wechsel- und Drehstromsysteme, Kommutierung, Netzrückwirkungen.

Selbstgeführte Stromrichter: Gleichstromsteller, Puls-Wechselrichter mit eingepprägter Spannung, Steuerverfahren und Modulation.

Stromrichtersysteme: Umkehrstromrichter, höherpulsige netzgeführte Stromrichter, Pulsumrichter mit Spannungszwischenkreis.

Empfohlene Vorkenntnisse: Grundlagen der Elektrotechnik

Power Electronics I

(5th term), V2, U1

Lecture: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens

Contents

Tasks and principles of power electronics, fields of application, components, power losses and cooling.

Line-commutated power converters: controlled and uncontrolled rectifiers and converters for single and three-phase AC systems, commutation, mains interactions.

Self-commutated power converters: buck and boost DC to DC converters, three-phase voltage-source inverters, pulse with modulation and control.

Power converter systems: cyclo converters, line-commutated converters with higher number of pulses, PWM voltage-source AC to AC converters.

Recommended previous knowledge: Basics of Electrical Engineering

Power Electronics II

(6th or 8th term), V2, U1

Lecture: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens

Contents

Three-phase voltage-source inverters: space vector representation, space vector modulation, optimized pulse patterns, non-ideal characteristics of voltage-source inverters and corrective measures.

Self-commutated converters for high power: multi-level inverters, current-source inverters.

Oscillating circuits in power electronics: basics, commutation circuits, snubber networks, resonant and quasi resonant converters.

Isolated DC to DC converters: transformers.

Forward converter, flyback converter, bridge converter.

Recommended previous knowledge: Basics of Electrical Engineering, Power Electronics I

Leistungselektronik II

(6. bzw. 8. Semester), V2, Ü1

Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens

Inhalt

Pulswechselrichter: Raumzeiger-Darstellung, Raumzeigermodulation, Optimierte Pulsmuster, nichtideale Eigenschaften von Pulswechselrichtern und Abhilfemaßnahmen.

Schwingkreise in der Leistungselektronik:

Grundlagen, Kommutierungsschaltungen, Schalentlastungen, Schwingkreiswechselrichter und Quasi-Resonanz-Stromrichter.

Schaltnetzteile: Transformatoren, Durchflusswandler, Sperrwandler.

Selbstgeführte Umrichter für hohe Leistungen: Mehrpunkt-Wechselrichter, Umrichter mit Stromzwischenkreis.

Empfohlene Vorkenntnisse: Grundlagen der Elektrotechnik, Leistungselektronik I

Einführung in das deutsche und europäische Energierecht

(5. Semester), V2

Vorlesung: Prof. Dr. jur. P. Salje
Dr. jur. K. Gent, M.L.E.

Inhalt

Der Energiemarkt ist ein spezieller Markt. Aufgrund der europäischen Vorgaben, die mit dem EnWG 2005 in nationales Recht umgesetzt wurden, ist dieser Markt weitgehend reguliert. Die Teilnehmer werden mit den europäischen und nationalen "Energie-Rechtsgrundlagen" vertraut gemacht, es werden mögliche Umsetzungsdefizite aufgezeigt sowie die energienetzbezogenen Ansprüche und Verpflichtungen erläutert. Die Vorlesung wird dabei wesentlich durch die gemeinsame Erarbeitung von Lösungen zu aktuellen Praxisfällen geprägt.

Vorlesungsziel ist es, den Teilnehmern die Fähigkeiten zu vermitteln, sich in diesen besonderen Markt einzuarbeiten.

Introduction into German and European Energy Law

(5th term), V2

Lecture: Prof. Dr. jur. P. Salje
Dr. jur. K. Gent, M.L.E.

Contents

The energy market is a very specific one. In accordance with the European regulations implemented by the EnWG 2005 into German law, this market is regulated to a large extent. Students will be taught about European and national "Energy Law". Possible deficiencies in the implementation of European into national law are shown, and requirements and obligations related to energy supply are explained. The lecture basically focuses on developing solutions for case scenarios currently found in practice.

Goal of this lecture is to provide students with the knowledge necessary to become familiar with this specific market.

Power Semiconductors and Gate Drives

(5th or 7th term), V2, U1

Lecture: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens
Dr. rer. nat. P. Kanschat

Learning target:

Comprehension of the relation between the structural design of power semiconductor components and their performance characteristics. Based on this, the influence of the load to be switched, of the gate drive and of the circuit environment on the performance of power semiconductors shall be pointed out by means of examples.

Contents:

- p-s-n-junction
- Space charge region and blocking behaviour; junction capacitance
- Conduction behaviour; stored charge in case of bipolar components
- Relation between the geometric parameters and the electrical limits
- Dynamic behaviour when switching on and off
- Bipolar transistor
- Thyristor
- Structure of modern MOSFETs and IGBTs
- Gate drive and switching performance of MOSFETs, IGBTs and IGCTs
- Integrated gate drive circuits

The exercise is partly accompanied by practical experiments.

Leistungshalbleiter und Ansteuerungen

(5. bzw. 7. Semester), V2, Ü1

Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens
Dr. rer. nat. P. Kanschat

Lernziel:

Verständnis der Zusammenhänge zwischen dem strukturellen Aufbau der Leistungshalbleiter-Bauelemente und ihren Betriebseigenschaften. Darauf aufbauend soll der Einfluss der zu schaltenden Last, der Ansteuerung und der Beschaltung auf das Betriebsverhalten der Leistungshalbleiter an Beispielen verdeutlicht werden.

Stoffplan:

- p-s-n-Übergang
- Raumladungszone und Sperrverhalten; Sperrschichtkapazität
- Durchlassverhalten; Trägerspeichereffekt bei bipolaren Bauelementen
- Zusammenhänge zwischen den geometrischen Parametern und den elektrischen Grenzdaten
- Dynamische Vorgänge beim Ein- und Abschalten
- Bipolartransistor
- Thyristor
- Aufbau von modernen MOSFETs und IGBTs
- Ansteuerung und Schaltverhalten von MOSFETs, IGBTs und IGCTs
- Integrierte Treiberschaltungen

Die Übung wird. z.T. von praktischen Experimenten begleitet.

Regelung elektrischer Drehfeldmaschinen

(6. bzw. 8. Semester), V2, Ü1

Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens

Lernziel

Die Studierenden sollen das dynamische Verhalten von geregelten Antrieben kennen lernen, die Prinzipien der feldorientierten Regelung für elektrische Drehfeldantriebe verstehen und Kenntnisse über die Eigenschaften der verschiedenen Verfahren erlangen. Dazu wird als erstes der komplette Regelkreis eines Gleichstromantriebs betrachtet. Schwerpunkt der Vorlesung sind Antriebe mit Asynchronmaschinen. Antriebe mit Synchronmaschinen werden ebenfalls betrachtet.

Stoffplan:

- Dynamisches Verhalten der unregulierten Gleichstrommaschine
- Drehmoment- und Drehzahlregelung der Gleichstrommaschine
- Lageregelung
- Regelungstechnisches Modell der Drehfeldmaschinen
- Prinzip der Feldorientierung
- Feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine
- Reduzierte Modelle der Asynchronmaschine
- Regelverfahren ohne Drehzahlgeber
- Feldorientierte Regelung der Synchronmaschine

In der Übung, die teilweise mit Rechnerunterstützung angeboten wird, werden die Studierenden zunächst mit der Anwendung der Tools Matlab und Simulink vertraut gemacht. Die Übungsbeispiele werden anhand von Simulationen bearbeitet, die von den Studierenden selbst am PC durchgeführt werden. Dabei werden die in der Vorlesung dargestellten Zusammenhänge durch eigene Erfahrung vertieft.

Notwendige Vorkenntnisse: Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung (Elektrotechniker) oder Elektrische Antriebe I u. II (Mechatroniker)

Empfohlene Vorkenntnisse: Leistungselektronik I und Elektrische Antriebssysteme

Control of Electrical Three-phase Machines

(6th or 8th term), V2, U1

Lecture: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens

Learning target

Students shall get to know the dynamic behaviour of controlled drives, understand the principles of field-oriented control for electrical three-phase drives as well as learn about the properties of the different methods. First of all, the complete control loop of a DC drive is investigated. The lecture focuses on drives with asynchronous machines. Drives with synchronous machines will also be considered.

Contents:

- Dynamic behaviour of uncontrolled DC machines
- Torque and speed control of DC machines
- Positioning control
- Dynamic model of three-phase machines
- Principle of field orientation
- Field-oriented control of asynchronous machines
- Reduced models of asynchronous machines
- Control methods without speed sensor
- Field-oriented control of synchronous machines

In the exercise which is partly computer-assisted, the students are first of all introduced into the application of the tools Matlab and Simulink. Exercise examples are treated by simulations carried out on the computer by the students themselves, thus increasing their knowledge achieved in the lecture by own experiences.

Necessary previous knowledge: Basics of Electromagnetical Power Conversion (electrical engineers) or Electric Drives I and II (mechatronic engineers)

Recommended previous knowledge: Power Electronics I and Electrical Drive Systems

Electrical Traction and Vehicle Drives

(6th or 8th term), V2

Lecture: Dr.-Ing. M. Hofstetter

Contents

The lecture deals with the basics of electrical traction and aspects concerning electrical vehicle drives. It is given a survey of the state-of-the-art focusing on electric traction equipment systems. Further on, the basics of electrical traction design are discussed from their requirements to their complete dimensioning. The scope to be dealt with reaches from tramways to high-speed trains. Further topics are the electrical infrastructure in the field of electrical traction and technical solutions for hybrid vehicle drives (e.g. serial hybrid or parallel hybrid). Basic knowledge in the field of power electronics and electric drive technology is required.

Elektrische Bahnen und Fahrzeugantriebe

(6. und 8. Semester), V2

Vorlesung: Dr.-Ing. M. Hofstetter

Inhalt

In der Vorlesung werden sowohl die Grundlagen elektrischer Bahnen als auch Aspekte von elektrischen Fahrzeugantrieben behandelt. Es wird eine Übersicht über den aktuellen Stand der Technik gegeben, wobei der Schwerpunkt auf der elektrischen Antriebsausrüstung liegt. Die Grundzüge der Auslegung von Bahnfahrzeugen von den Anforderungen bis zur kompletten Dimensionierung werden erläutert. Das Gebiet umfasst dabei Fahrzeuge von der Straßenbahn bis zum Hochgeschwindigkeitsbereich. Weiterhin wird die elektrische Infrastruktur im Bahnbereich erklärt. Im Bereich der Fahrzeugantriebe wird auf die technischen Lösungen bei Hybridantrieben wie z.B. serienhybrid oder parallelhybrid eingegangen. Als Grundlage werden Vorwissen auf den Gebieten Leistungselektronik und elektrische Antriebstechnik vorausgesetzt.

Modellierung von elektromechanischen Mikrosystemen

(8. Semester), V2, Ü1

Vorlesung: Dr.-Ing. J. Steinbrink
Prof. Dr.-Ing. W. Mathis

Inhalt

Grundzüge mikroelektromechanischer und nanoelektromechanischer Systeme (MEMS und NEMS), deren Realisierung mit Verfahren aus der Mikrotechnologie bzw. Nanotechnologie erfolgt.

Einführung anhand typischer MEMS- und NEMS-basierter Sensor- und Aktuatorssysteme, Grundlagen der mathematischen Modellbildung gekoppelter elektromechanischer Systeme unter besonderer Berücksichtigung der Mikro- und Nanotechnologie, Ausgangspunkte für numerische Simulationsverfahren, Multilevelansätze, um die hohe Komplexität solcher Systeme zu beherrschen, Beschreibung der elektromechanischen Modelle mit endlich vielen Freiheitsgraden mit Hilfe des Lagrangeformalismus und Modelle mit unendlich vielen Freiheitsgraden mit feldtheoretischen Modellen, Berücksichtigung thermischer, fluidischer, optischer und quantenmechanischer Aspekte, Demonstration der Methoden anhand der oben genannten Beispiele.

Darstellung der Funktionsprinzipien, des Grobentwurfs, den Besonderheiten gegenüber "Makroausführungen" ausgehend von konventionellen Mikroaktuatoren, Übergang auf Mikrosysteme, Vermittlung der Grundlagen der feldtheoretischen Berechnungsmethoden (speziell elektromagnetisch) inklusive angemessener Materialbeschreibung der typischen Funktionswerkstoffe, Bestimmung des Betriebsverhaltens und der Ansteuerung von Mikrosystemen durch Simulationen einzelner Beispiele, Diskussion einiger halbleiterbasierte MEMS- und NEMS-Sensoren und deren Eigenschaften, Simulation des Verhaltens.

Empfohlene Vorkenntnisse: Mikrosystemtechnik, Regelungstechnik, elektromagnetische Felder, elektrische Netzwerke.

Modeling of Electro-mechanical Micro Systems

(8th term), V2, U1

Lecture: Dr.-Ing. J. Steinbrink
Prof. Dr.-Ing. W. Mathis

Contents

Basics of microelectromechanical and nanoelectromechanical systems (MEMS and NEMS), realised by methods based on micro or nano technology.

Introduction by using typical MEMS and NEMS based sensor and actuator systems, basics of mathematical modeling of coupled electromechanical systems, especially with respect to micro and nanotechnology, origin for numerical simulation methods, multilevel approaches to handle the high complexity of such systems, description of electromechanical models with finite degrees of freedom by means of the Lagrange formalism and models with infinite degrees of freedom using field-theoretical models, consideration of thermal, fluidic, optical and quantum-mechanical aspects, demonstration of the methods by using the examples mentioned above.

Presentation of the functional principles, the rough design, the particularities compared to "macro designs" based on conventional micro actuators, transfer to micro systems, basics of field-theoretical calculation methods (especially electromechanical) including appropriate material description of typical functional materials, determination of the operating behaviour and the control of micro systems by simulation of single examples, discussion of some semiconductor-based MEMS and NEMS sensors and their properties, simulation of the behaviour.

Recommended previous knowledge: micro system technology, control systems, electromagnetic fields, electric grids.

Colloquium on “Electrical Drive Systems“, “Theory of Electrical Machines“ and “Small Electrical Motors and Servo Drives”

This colloquium aims at supporting the students in the respective subjects during their last phase of preparation before an exam. Compared to the exercises, strong emphasis is placed in the colloquium on solving problems without any assistance. In general, problems dealt with in former exams or those proposed by the students themselves are solved and discussed in groups. The approach how to solve a problem is presented by the assistants in charge of the colloquium and supported by answering all emerging questions. Depending on the group composition and the students' level of knowledge, several different themes treated in the respective lectures are discussed in detail.

Kolloquium „Elektrische Antriebssysteme“, „Berechnung elektrischer Maschinen“ und „Elektrische Klein- und Servoantriebe“

Das Kolloquium hat das Ziel, die Studenten in den zugehörigen Fächern in der letzten Phase der Prüfungsvorbereitung zu unterstützen. Hierbei wird im Unterschied zu den Übungen auf die Selbständigkeit der Bearbeitung von Fragestellungen besonderer Wert gelegt. In der Regel werden die Lösungen von alten, im Idealfall von den Studenten vorgeschlagenen Übungs- oder Klausuraufgaben in Gruppenarbeit erarbeitet und diskutiert. Die betreuenden Assistenten moderieren den Lösungsweg und unterstützen die Lösung durch Beantwortung von Fragen. Je nach Zusammensetzung und Wissensstand der studentischen Gruppe werden mehrere unterschiedliche Themen aus der gesamten Inhaltspalette der zugeordneten Vorlesungen intensiv behandelt.

Labor „Leistungselektronik“

Das Leistungselektroniklabor umfasst acht Versuche, die von Studenten in kleinen Gruppen durchgeführt werden. Diese acht Versuche decken einen Großteil der Themengebiete der Vorlesungen Leistungselektronik I und Leistungselektronik II ab. Sie dienen der Vertiefung des theoretisch gewonnenen Wissens und dem Erlernen des praktischen Umgangs mit Umrichtern und Messgeräten.

Bei der im Labor eingesetzten Hardware handelt es sich in der Regel um Industrieumrichter. Diese sind so erweitert worden, dass alle erforderlichen Messsignale leicht zugänglich sind. Mit diesen Signalen können verschiedene Eigenschaften der Umrichter überprüft werden. So werden in einigen Versuchen die Halbleiter und ihr Verhalten untersucht. Andere Versuche beschäftigen sich mit dem Betriebsverhalten von netzgeführten Umrichtern, wie zum Beispiel Wechselstromsteller oder Drehstrombrückenschaltungen. Selbstgeführte Umrichter und deren Steuerverfahren werden in drei Versuchen behandelt.

Digitale Simulationssysteme werden in der Elektrotechnik zur Untersuchung von Schaltungen und Bauelementen verwendet. In einem Versuch werden die Studenten am Beispiel einer sechspulsigen Thyristorbrücke schrittweise an die Möglichkeiten der Simulation zur Darstellung elektrischer Vorgänge herangeführt.

Laboratory Exercise on “Power Electronics”

The power electronics lab consists of 8 experiments which are carried out by the students in small groups. These experiments largely cover the contents of the two lectures Power Electronics I and II. They serve for deepening the theoretical knowledge and learning how to handle converters and measuring tools in practice.

In general, industrial converters are used in these experiments. They are modified in a way that all necessary measuring signals are easily accessible. These signals are used to check various converter properties. Some experiments deal with semiconductors and their behaviour. Other experiments deal with the performance of line-commutated converters, as for ex. AC power controllers or three-phase bridge configurations. Self-commutated converters and their control methods are subject of three further experiments.

Digital simulation systems are used in electrical engineering for examining circuits and components. In one experiment, the students learn step by step about the possibilities of simulation in order to describe electrical processes using a 6-pulse thyristor bridge as an example.

Laboratory Exercise on “Electrical Machines“

- DC motors
- Universal motor
- Synchronous motor with cylindrical rotor (operating characteristics)
- Salient-pole synchronous machine (reactances and sudden short circuit)
- Three-phase induction motor (operating characteristics)
- Self-excited three-phase induction generator
- Induction motor with stator and rotor unbalance
- Single-phase induction motor

Goal of the lab on “Electrical Machines“ and “Electric Drives“ is to examine by means of experiments the performance of different mains-operated electrical machines and compare them to theory. Various measuring methods are presented in order to determine electrical (e.g. current, voltage and power) and mechanical characteristics (e.g. torque and speed); the handling of different measuring instruments is practised, too. Besides the steady-state performance during smooth running, it is also tested how motors behave in case of malfunctions or unbalances in the power supply.

Labor „Elektrische Maschinen“

- Gleichstrommotoren
- Universalmotor
- Vollpol-Synchronmotor (Betriebskennlinien)
- Schenkelpol-Synchronmaschine (Reaktanzen und Stoßkurzschluss)
- Drehstrom-Induktionsmotor (Betriebskennlinien)
- Selbsterregter Drehstrom-Asynchrongenerator
- Induktionsmotor mit Ständer- und Läuferunsymmetrie
- Wechselstrom-Induktionsmotor

Im Labor „Elektrische Maschinen“ und „Elektrische Antriebstechnik“ soll das Betriebsverhalten verschiedener am Netz betriebener elektrischer Maschinen praktisch untersucht und mit der Theorie verglichen werden. Zur Messung elektrischer (z.B. Strom, Spannung und Leistung) und mechanischer Größen (z.B. Drehmoment und Drehzahl) sollen verschiedene Messmethoden eingesetzt werden und auch der Umgang mit unterschiedlichen Messgeräten geschult werden. Neben dem stationären Betriebsverhalten im fehlerfreien Betrieb wird auch das Verhalten bei Fehlern und Unsymmetrien in der Netzversorgung untersucht.

Labor „Elektrische Antriebssysteme“

- Gleichstrom-Reihenschlussmotor am Gleichstrom-Pulswandler (Chopper)
- Elektronisch kommutierte Motoren
- Permanentmagneterreger Servoantrieb
- Drehstrom-Induktionsmotor mit Käfigläufer am Pulsrichter
- Steuer- und Regelverfahren von Pulsrichter mit Käfigläufer-Induktionsmotor
- Drehzahlvariabler Drehstrom-Asynchrongenerator mit Schleifringläufer
- Untersynchrone Stromrichter-kaskade
- Schrittmotor

Die Versuche des Labors „Elektrische Antriebssysteme“ befassen sich mit dem Verhalten von stromrichtergespeisten bzw. elektronisch betriebenen elektrischen Maschinen. Es wird das gesamte Antriebssystem bestehend aus Motor und Stromrichter untersucht. Die Versuche sollen zeigen, wie das Betriebsverhalten von klassischen elektrischen Maschinen durch moderne leistungselektronische Komponenten beeinflusst werden kann. Des Weiteren werden moderne elektronisch betriebene Motoren und deren Steuerung bzw. Regelung untersucht.

Wie beim Labor „Elektrische Maschinen“ werden auch hier unterschiedliche Messmethoden und -geräte zur Bestimmung der elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Antriebssystems eingesetzt.

Laboratory Exercise on “Electrical Drive Systems”

- Series wound DC motor fed by DC pulse-controlled converter (chopper)
- Electronically commutated motors
- Permanent magnet synchronous servo motor
- Three-phase cage induction motor fed by pulse-controlled converter
- Control methods of pulse-controlled converters for cage induction motor
- Variable speed three-phase induction generator with wound rotor
- Synchronous motor fed by current-source inverter (LCI)
- Stepping motor

The experiments in the lab on „Electrical Drive Systems“ deal with the behaviour of converter-fed and electronically controlled electrical machines. The whole drive system, i.e. the motor and the converter, is examined. The experiments shall prove how the performance of conventional electrical machines can be influenced by modern power electronic components. In addition, modern B.L.D.C. motors and their control system are investigated.

As in the lab “Electrical Machines“, different measuring methods and instruments are used to determine electrical and mechanical characteristics of the drive systems.

Laboratory Exercise on “Energy Technology”

The “Energy Technology” lab (ETL) is compulsory for all power engineering students. The lab consists of eight experiments organized by the different disciplines in power engineering. Aim is to provide students with an overview of the diverse practical demands which occur in the wide range of power engineering topics.

Below the list of experiments taking place at the following institutes:

- Institute for Drive Systems and Power Electronics:
 - Synchronous generator with cylindrical rotor
 - AC power controller
- Institute of Dynamics and Vibration Research
 - Experimental vibration analysis
- Institute of Electrotechnology:
 - Induction heating
- Institute of Electric Power Systems:
 - Electric transmission systems
- Institute for Technical Combustion
 - Experimental investigations on a direct-injection diesel engine with turbocharger
- Institute of Thermodynamics:
 - Fuel cell
- Institute of Turbomachinery and Fluid Dynamics
 - Experiment on an aero-acoustic wind tunnel

The laboratory starts in winter term 2013/14 and is coordinated by IAL.

Labor „Energietechnologie“

Das Labor „Energietechnologie“ (ETL) ist eine Pflichtveranstaltung für alle Studierenden des Studiengangs „Energietechnik“. Es umfasst insgesamt acht Versuche aus acht verschiedenen Fachbereichen der Energietechnik. Ziel ist es, den Studierenden einen Überblick über die unterschiedlichen praktischen Anforderungen des weitläufigen Themenkomplexes „Energietechnik“ zu vermitteln.

Das ETL findet an den folgenden Instituten mit den folgenden Versuchen statt:

- Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik:
 - Vollpolsynchrongenerator
 - Wechselstromsteller
- Institut für Dynamik und Schwingungen
 - Experimentelle Schwingungsanalyse
- Institut für Elektroprozessstechnik:
 - Induktionserwärmung
- Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik:
 - Elektrische Übertragungssysteme
- Institut für technische Verbrennung
 - Experimentelle Untersuchungen an einem Dieselmotor mit Direkteinspritzung und Turbolader
- Institut für Thermodynamik:
 - Brennstoffzelle
- Institut für Turbomaschinen und Fluidodynamik
 - Untersuchungen am aeroakustischen Windkanal

Dieses Labor findet erstmalig im WS 2013/14 statt und wird vom IAL organisiert und koordiniert.

Labor “E-Drive Road Test”

Ab dem Sommersemester 2012 können Studierende der Studiengänge Elektrotechnik und Maschinenbau am Institut für Technische Verbrennung (ITV) durch Fahrversuche mit dem Elektrofahrzeug „Stromos“ des IAL moderne Datenerfassungssysteme und Analysetechniken zur Bestimmung von Fahrprofilen kennenlernen.

Die Studierenden sollen sich mit praxisnahen Fragestellungen zu moderner Fahrzeugantriebstechnik auseinandersetzen.

Laboratory Exercise on “E-Drive Road Test”

Since summer term 2012, electrical and mechanical engineering students can gain experiences in the field of modern data logging systems and analysis techniques for the identification of operational profiles of road vehicles; this is done through road tests offered at the Institute for Technical Combustion (ITV) with IAL's electric car “Stromos”.

Students shall have the opportunity to deal with actual questions on modern automotive drive technology.

Studentische Arbeiten 2012/2013

Students' Theses 2012/2013

Studienarbeiten

Short Theses

2012

El-Jamal, Ahmad:

Untersuchung und Auswertung unterschiedlicher Piezoelemente zur Gewinnung von Energie aus dem Prozess

Investigation and Evaluation of Different Piezo Elements for Energy Recovery from a Process

Fuchs, Jonathan:

Kraftregelung und Inbetriebnahme eines Lineardirektantriebs

Force Control and Commissioning of a Gearless Linear Drive

Gustäbel, Björn:

Entwicklung und Optimierung einer berührungslosen Energieübertragungsstrecke

Design and Optimization of a Contactless Energy Transmission Line

Haberjan, Lena:

Regelung eines Netzpulsstromrichters mit Matlab/Simulink/dSPACE

Control of a Voltage Source Inverter with Matlab/Simulink/dSPACE

Houssayki, Ali:

Entwicklung und Parametrierung eines Strukturmodells von Druckmaschinen

Development and Parameterization of a Structural Model for Printing Machines

Jürgens, Jonathan:

Quasistationäre Berechnung des Hauptantriebs für Elektrofahrzeuge in vorgegebenen Fahrzyklen

Quasi Steady-state Calculation of the Main Drive for Electric Vehicles in Determined Driving Cycles

Knebusch, Benjamin:

Aufbau eines Batteriemanagementsystems für Lithium-Polymer-Batterien

Design of a Battery Management System for Lithium Polymer Batteries

Roppes, Sebastian:

Vergleich von Netzsynchronisationsverfahren in dreiphasigen Systemen

Comparison of Grid Synchronization Methods in Three-phase Systems

Schroeder, Henrik:

Untersuchung des Potentials einer permanentmagneterregten Synchronmaschine zur Klimatisierung des Fahrerraums in Elektro- und Hybridfahrzeugen

Investigation of the Potential of a Permanent Magnet Synchronous Machine for Climatisation of the Driver's Cab in Electric and Hybrid Vehicles

Udema, Stefan:

Entwurf einer Regelung für einen hochdynamischen Linsenantrieb für Laserstrahlschneidköpfe

Control Design for a Highly Dynamic Lens Drive for Laser Cutting Heads

Ullrich, Michael:

Dimensionierung einer elektrisch erregten Synchronmaschine für den Einsatz in einem Hybridfahrzeug

Dimensioning of an Electrically Excited Synchronous Machine for Use in a Hybrid Powertrain

Weber, Niklas:

Transiente thermische Berechnung von Traktionsantrieben mittels Wärmequellennetzwerken

Transient Thermal Calculation of Traction Drives Using Thermal Equivalent Circuit Models

2013**Becker, Christian:**

Untersuchung der Online-Identifikationsverfahren in geregelten elektrischen Antriebssystemen
Investigation of Online Identification Methods in Controlled Electric Drives

Golly, Felix:

Aufbau einer Schnittstellenkarte zur Anbindung eines dreiphasigen industriell gefertigten Umrichters an ein Inselnetz
Development of an Interface Card for an Industrially Manufactured Three-phase Inverter for an Islanded Grid

Haase, Maximilian:

Aufbau der Steuerhardware einer elektrisch erregten Synchronmaschine
Design of a Hardware Controller for an Electrically Excited Synchronous Machine

Narjes, Gerrit:

Optimierung von Wärmequellennetzwerk-Kenngrößen einer permanent erregten Synchronmaschine für Traktionsantriebe
Optimization of Thermal Equivalent Circuit Model Parameters of a Permanent Magnet Synchronous Machine for Traction Drives

Pham, Duc Viet:

Stabilitätsanalyse dreiphasiger Wechselrichter im Netzverbund mit Hilfe des Nyquistkriteriums
Stability Analysis of Three-phase Grid-connected Inverters Using Nyquist Criterion

Bachelorarbeiten**Bachelor Theses****2012****Bhusal, Dhundi Raj:**

Auslegung eines Elektromotors mit variablem Luftspalt als Direktantrieb eines rotierenden Kolbenverdichters
Design of an Electrical Motor with Variable Air-Gap Length Used as a Direct Drive for a Rotating Compressor

Dick, Christian:

Aufbau und Realisierung der Sensorik und Regелеlektronik eines SiC-Antriebsumrichters mit anschließender Vektorregelung einer PMSM
Design and Implementation of the Sensor and Control Electronics of a SiC Inverter Drive Followed by Vector Control of a PMSM

Kimmerle, David:

Untersuchung der Eisenverluste von Drehfeldmaschinen unter Berücksichtigung der Schrägung
Analysis of Iron Losses of Rotating Field Machines Considering Skewing

Kirchfeld, Alexander:

Antriebssysteme mit maximaler Drehmomentdichte
Propulsion Systems with Maximum Torque Density

Klatt, Jean-Pierre:

Dimensionierung und Design eines Hochsetzstellers mit SiC-Halbleitern
Design of a Boost Converter Using SiC Semiconductors

Knebusch, Benjamin:

Mehrkriterielle Magnetkreisoptimierung elektrischer Maschinen
Multi Criteria Magnetic Circuit Optimization of Electrical Machines

Krzeminicki, Lars:

Untersuchung der Vor- und Nachteile von langsam laufenden ölgekühlten Synchrongeneratoren für Offshore-Windenergieanlagen

Analysis of Advantages and Disadvantages of Low-speed Oil-cooled Offshore Synchronous Generators

Müller, Simon:

Aufbau und Inbetriebnahme der Netzregelung eines 3-Punkt-Umrichters mit Hilfe eines dSPACE-Systems

Design and Implementation of a Grid Control for a 3-level Converter Using a dSPACE System

Rebers, Lauritz:

Modellierung von Umrichtern am Netz für eine "Hardware-in-the-Loop"-Netzsimulation

Modeling of Grid-connected Converters for a "Hardware in the Loop" Grid Simulation

Rzepakowski, Maciek:

Entwurf einer Leistungselektronik für ein elektrisch betriebenes Modellfahrzeug

Design of the Power Electronics for an Electrically Driven Model Car

Weber, Marian:

Design und Implementierung einer Messschaltung zur Erfassung der MOSFET-Durchlasswiderstände im Betrieb in einem Umrichter

Design and Implementation of a Measuring Circuit for Identification of the MOSFET On-state Resistances When Operated in a Converter

Weber, Simon:

Untersuchung der Stromabhängigkeit des Schaltverhaltens von MOSFETs

Analysis of the Current Impact on the Switching Behaviour of MOSFETs

Zlotnik, Alexander:

FRT-Regelung eines 3-Punkt-Umrichters für die Netzeinspeisung dezentraler Energieerzeuger

FRT Control of a 3-level Converter for Grid Supply by Decentralized Power Generating Systems

2013**Eberwein, Martin:**

Untersuchung von Temperaturmessmethoden zur Bestimmung von orts aufgelösten Verlustverteilungen in Wasserkraftgeneratoren

Investigation of Temperature Measuring Methods for Determination of Space-resolved Loss Distributions in Hydroelectric Generators

Eroez, Kagan:

Vergleich und Optimierung verschiedener Motorgeometrien für den Einsatz in hochdrehenden Kompressorantrieben mit Oberflächenmanagement

Comparison and Optimization of Different Motor Geometries with Surface-mounted Magnets for Use in High-speed Compressor Drives

Herwig, Daniel:

Aufbau und Regelung eines automatisierten Prüfstands zur Untersuchung verschiedener Kühlkonzepte von Komponenten elektrischer Antriebssysteme

Construction and Control of an Automated Test Stand to Investigate Different Cooling Methods of Electrical Drive Systems

Königsberg, Jan:

Untersuchung typischer Rotorgeometrien von permanentmagneterregten Synchronmaschinen mit vergrabenen Magneten

Investigation of Rotor Geometries Typical for Permanent Magnet Synchronous Machines with Buried Magnets

Nguyen, Hai Minh:

Untersuchung des Wirkungsgrads und des dynamischen Verhaltens eines Antriebs für eine Kühlanlage

Investigation of Efficiency and Dynamic Behaviour of an Electric Drive for a Cooling Plant

Pham, Duc Viet:

Inbetriebnahme eines NPC-Wechselrichters mit dSPACE inkl. Schaltsignalgenerierung auf FPGA

Start-up of an NPC converter with dSPACE Including Switching Signal Generation on FPGA Board

Rehfeld, Alexander:

Untersuchung parasitärer Effekte in hoch ausgenutzten Maschinen mit Zahnspulenwicklung
Investigation of Parasitic Effects in Highly Utilized Machines with Concentrated Windings

Siebrecht, Martin:

Einfluss von Hystereseeffekten in permanenterregten Synchronmaschinen auf Verfahren der geberlosen Regelung
Influence of Hysteresis Effects in Permanent Magnet Synchronous Machines on Self-sensing Control Techniques

Timm, Florian:

Untersuchung eines Sektormotor-Konzepts für elektrische Fahrzeugantriebe
Investigation of a Sector Motor Concept for Electric Vehicle Drives

Diplomarbeiten**Diploma Theses****2012****Amor, Jed Ben:**

Entwurf einer Bedienoberfläche für eine Frässpindel mit Simulink und dSPACE Control Desk
Design of a User Interface for a Milling Spindle Using Simulink and dSPACE Control Desk

Heimbürger, Sebastian:

Analyse der Stromabhängigkeit des Schaltverhaltens bestimmter MOSFET-Topologien bei Einsatz von unterschiedlichen Treibersystemen und Lastimpedanzen
Analysis of Current Dependency of the Switching Behaviour of Certain MOSFET Topologies Using Different Driver Systems and Load Impedances

von Hofen, Malte:

Simulation und Regelung von 3-Level-NPC-Umrichtern
Simulation and Control of 3-level NPC Converters

Krone, Tobias:

Auslegung und Aufbau eines Wechselrichters mit SiC-JFETs für einen Rennwagen
Design and Setup of a Converter with SiC-JFETs for a Racing Car

Moriße, Marcel:

Erstellung eines Programms zur Generierung reproduzierbarer Leistungsverläufe regenerativer Erzeuger sowie deren Implementierung in ein Labor zur Untersuchung von umrichterdominierten Netzen
Development of a Program to Generate Reproducible Power Curves of Renewable Power Generating Systems and their Experimental Implementation to Investigate Converter-dominated Grids

Müller-Deile, Felix:

Messtechnische Bestimmung der Einzelverluste einer permanentmagneterregten Synchronmaschine
Determination by Measurements of Component Losses in a Permanent Magnet Synchronous Machine

Schalk, Tabea:

Modellierung von Servoantrieben zur Energiebedarfsermittlung
 Modeling of Servo Drives for Determination of the Energy Demand

2013**Fuchs, Jonathan:**

Dynamische Stabilisierung und Regleroptimierung für einen Lineardirekt-Planarmotor
 Dynamic Stabilization and Controller Optimization for a Linear Direct Planar Motor

Haberjan, Lena:

Untersuchung von Eisenverlusten in Wasserkraftgeneratoren
 Investigation of Iron Losses in Hydroelectric Generators

Jürgens, Jonathan:

Radnabenantriebe mit elektrisch erregter Synchronmaschine
 Wheel Hub Drives with Electrically Excited Synchronous Machine

Kusserow, Karsten:

Stromharmonischenregelung eines netzseitigen, dreiphasigen Wechselrichters mit dSPACE
 Control of Current Harmonics in a Grid-connected Three-phase Inverter with dSPACE

Narjes, Gerrit:

Berechnung von Außenpolderregermaschinen
 Calculation of Stationary-field Exciter Machines

Schroeder, Henrik:

Untersuchung von Messspulensystemen in permanenterregten Synchronmaschinen zum Einsatz in Offshore-Windenergieanlagen
 Investigation of Search Coil Systems in Permanent Magnet Synchronous Machines for Use in Offshore Wind Turbines

Thomas, Martin:

Anwendung messtechnischer Verfahren zur Bestimmung thermischer Parameter an permanentmagneterregten Synchronmaschinen
 Application of Measurement Methods to Determine Thermal Parameters for Permanent Magnet Synchronous Machines

Udema, Stefan:

Ermittlung einer analytischen Ersatzfunktion für die Berechnung der Jochinduktion bei Drehfeldmaschinen
 Determination of an Analytical Equivalent Function for Calculation of the Yoke Inductance in Rotating Electrical Machines

Weber, Niklas:

Rotierender Mittelfrequenzübertrager zur bürstenlosen Erregung synchroner Fahrmotoren
 Rotating Medium-frequency Transmitter for Brushless Excitation of Synchronous Motors

Masterarbeiten

Master Theses

2012

Ahi, Kiarash:

Regelung und Entwurf eines modularen Umrichters für Fahrzeuge

Control and Design of a Modular Converter System for Vehicle Applications

Daniali, Navid:

Entwurf und Aufbau eines bidirektionalen Gleichspannungswandlers in Ćuk-Wandler-Topologie für ein Laborbatteriesystem

Design and Construction of a Bidirectional DC-DC Converter in Isolated Ćuk Topology for a Laboratory Battery System

Dieker, Sonja:

Materialeffizienz in permanenterregten Synchronmaschinen

Material Efficiency in Permanent Magnet Synchronous Machines

Hajjighorbani, Sharooz:

Gleichspannungswandler für ein durch Photovoltaik betriebenes Ladegerät

DC-DC Converter for Photovoltaic-powered Battery Charger

Jalali, Gholamreza:

Entwicklung und Implementierung eines optimierten Regelungskonzepts für Induktionsmaschinen in Elektrofahrzeugen

Development and Implementation of an Optimized Control Strategy for Induction Machines in Electric Vehicles

Karimi, Rashidreza:

Analyse von Niederspannungsumrichter-Topologien für Hochleistungsanwendungen

Analysis of Low-voltage Inverter Topologies for High-power Applications

Komaei, Bijan Amani:

Entwicklung und Aufbau einer programmierbaren Spannungsquelle für einen Versuchsaufbau mit Leistungshalbleitern

Design and Construction of a Programmable Voltage Source for a Power Semiconductor Switching Test Setup

Lu, Bingyuan:

Untersuchung von gießtechnisch hergestellten Spulen für Einzelzahnwicklungen am Beispiel eines Radnabenmotors

Investigation of Cast Single-Tooth Wound Coils Used in Wheel Hub Motors

Mohammadi, Ehsan Anaraki:

Implementierung eines Verfahrens zur Parameteridentifikation zwecks Simulation eines Elektromotors mit der Software Opera

Implementation of a Parameter Identification Method for Transient Modeling of EC Motors Using the Software Opera

Richter, Christian:

Effizienter Materialeinsatz bei permanenterregten Kleinmotoren

Efficient Material Usage for Small Permanent Magnet Motors

Zarei, Amin Hassan:

Kombination transienter und harmonischer Simulationsmethoden zur Analyse der Rotorverluste

Combination of Transient and Harmonic Simulation Methods to Analyse Rotor Losses

Zhu, Juntao:

Fahrzyklusgerechte Dimensionierung einer Schenkelpolsynchronmaschine für ein plug-in-hybrid-elektrisches Fahrzeug

Driving Cycle Optimized Design of a Salient-pole Synchronous Machine for a Plug-in Hybrid Vehicle

2013**Andresen, Markus:**

Gleichspannungswandler zur DC-Netzanbindung von Offshore-Windparks
DC-DC Converter for DC Grid Connection of Offshore Wind Parks

Dasenbrock, Thilo:

Feldorientierte Regelung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen unter Berücksichtigung von Oberharmonischen der EMK
Field-oriented Control of Permanent Magnet Synchronous Machines Considering Higher Harmonics of the EMF

Heseding, Johannes:

Modellierung, Regelung und Simulation eines HGÜ-angebundenen Offshore-Windparknetzes
Modeling, Control and Simulation of an HVDC-connected Offshore Windpark

Jongebloed, Michael:

Entwurf, Aufbau und Untersuchung eines Wechselrichters für den Betrieb mit erhöhter Sperrschichttemperatur
Design, Assembling and Investigation of a Power Inverter with Increased Junction Temperature

Kaczorowski, Dennis:

Adaptives Effizienz- und Temperaturmanagement von Antriebssystemen für die Elektrotraktion
Adaptive Efficiency and Temperature Management for Electric Traction Drive Systems

Korolova, Olga:

Verfahren zur Vorausberechnung des Betriebsverhaltens von Schenkelpolsynchronmaschinen als Fahrtriebe für Elektrofahrzeuge
Method to Predict the Performance of Salient-pole Synchronous Machines Used as Drive in Electric Vehicles

Kunzler, Rolf:

Entwurf und Implementierung eines alternativen, FPGA-basierten Verfahrens zur Strombestimmung im Umrichterbetrieb
Design and Implementation of an Alternative FPGA-based Current Measurement Method within an Inverter

Sommer, Christian:

Entwicklung und Implementierung neuer Steuer- und Regelungsverfahren für Hochsetzsteller und Wechselrichter mit gemeinsamem Zwischenkreis im Betriebsverbund
Development and Implementation of New Control Methods for Boost Converters and Inverters with the same DC Link in an Interconnected Grid

Weber, Bastian:

FPGA-basierte positionsgeberlose Regelung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen
FPGA-based Position Transducerless Control of Permanent Magnet Synchronous Machines

Weber, Simon:

Entwicklung und Aufbau neuer Gate-Treiber zur sicheren Ansteuerung und Überwachung von Verarmungstyp SiC-JFETs
Research and Development of New Gate Drive Topologies to Drive and Observe Depletion Mode SiC JFETs

Nachwuchsgewinnung

von Dr.-Ing. Cornelia Stübzig

Was wäre die Universität ohne Studierende? Natürlich nicht viel... Und zukünftige Studierende müssen – auch im Fall der Elektrotechnik – zunächst für das zu studierende Fach begeistert werden.

Im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik werden zu diesem Zweck vielfältige Anstrengungen unternommen, an denen das IAL maßgeblich beteiligt ist. Neben der eher individuellen Betreuung von Schülerinnen und Schülern, die am IAL und anderen Instituten Praktika absolvieren, ist auch die Beteiligung an verschiedenen „Berufsmessen“ wichtig. Exemplarisch möchte ich hier die folgenden Aktivitäten aus dem Jahr 2013 vorstellen: die Talente-Akademie, die IdeenExpo und das Zukunftsmobil.

Im Rahmen der Talente-Akademie bot die Fakultät für Elektrotechnik und Informatik einen Workshop für besonders begabte und interessierte Schülerinnen und Schüler der Oberstufe an, in dessen Rahmen kleinere Projekte aus dem Bereich der Elektrotechnik und Informatik selbstständig bearbeitet wurden. Das IAL hat hier einen Quadrocopter aufbauen lassen und die entsprechenden antriebsspezifischen Hintergründe erläutert. Durch den hohen Praxisanteil wurde dieser Workshop sehr gut angenommen und beurteilt (Abb. 1).



Abb. 1: Arbeitsgruppe der Talente-Akademie mit einem Quadrocopter

Fig. 1: Working group Talent Academy with Quadrocopter

Die IdeenExpo findet jährlich in Hannover statt und soll die Vielfalt der technischen Studiengänge und Fächer aufzeigen. Nach einem erfolgreichen Auftritt wenige Jahre zuvor, nahm das IAL

Recruiting Young Talents

by Dr.-Ing. Cornelia Stübzig

What would a university be without its students? Not that much, of course!

In the first place, university disciplines face the problem to get future students interested in their particular study course – which of course also applies to electrical engineering.

To meet this challenge, the Department for Electrical Engineering and Information Technology has been taking a variety of measures, in which the IAL is significantly involved. Activities comprise for example internships offered by IAL and other institutes, providing an individual mentoring of scholars, as well as the participation in various “Career Days”. Activities taken in 2013 include: the Talent Academy, the Expo of Ideas, and the Mobile Future Lab.

Within the scope of the Talent Academy, the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science offered a workshop for interested and especially talented senior pupils where they could deal on their own with smaller projects in the field of electrical engineering and computer science. Subject of the IAL project was to create a Quadrocopter and provide the respective drive-specific technical knowledge. Due to the varied practical experiences which could be gained, the workshop was highly frequented and estimated by the pupils (Fig. 2).



Abb. 2: Foto der Arbeitsgruppe der Talente-Akademie, vom Quadrocopter aufgenommen

Fig. 2: Photo of the working group Talent Academy taken from the Quadrocopter

The Expo of Ideas is an event taking place in Hannover once a year. Goal of the exposition is to demonstrate the diversity of technical study courses and subjects. After a successful attendance some years ago, the IAL partici-

pated again this year, presenting a “hand-driven generator” (Fig. 3, permanent magnet synchronous machine), which perfectly illustrates how much force is needed de facto to illuminate a number of light bulbs or LEDs.

The Mobile Future Lab (Fig. 4) is an exhibition van, provided by the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, which is equipped with various faculty-specific exhibits. The van can be booked by schools, for Career Days and other events. This initiative is mentored by research associates and other staff members of the faculty. They give the prospective students an understanding of basic principles of physics and provide general study-related information. In future, the aforementioned hand-driven generator as an example for drive technology will extend the number of exhibits presented in the Mobile Future lab.



Abb. 4: Schüler informieren sich im Zukunftsmobil.

Fig. 4: Pupils are visiting the Mobile Future Lab.

Using comprehensible and illustrative models helps us a great deal to get into contact with pupils and get them interested in the varied and fascinating aspects characterizing our discipline.

dieses Jahr erneut teil und präsentierte den „Kurbelgenerator“ (Abb. 3, permanentmagnet-erregte Synchronmaschine), der verdeutlicht, wie viel Kraft tatsächlich aufgewendet werden muss, um verschiedene Lampen zum Leuchten zu bringen.



Abb. 3: Kurbelgenerator auf der IdeenExpo

Fig. 3: Hand-driven generator presented on the Expo of Ideas

Beim Zukunftsmobil (Abb. 4) handelt es sich um einen mobilen Informationsstand, der von der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik beschafft und mit verschiedenen Exponaten rund um das Fachgebiet ausgestattet wurde. Er kann von Schulen, Berufsmessen etc. angefordert werden. Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Fakultät erklären die physikalischen Grundprinzipien und geben Auskunft über die Studienbedingungen und -fächer. Die Antriebstechnik wird im Zukunftsmobil in Zukunft in Form des oben erläuterten Kurbelgenerators vertreten sein.

Durch unsere anschaulichen Exponate haben wir gute Gelegenheiten, mit den Schülerinnen und Schülern ins Gespräch zu kommen und die vielen spannenden Aspekte des Fachs zu vermitteln.

Kontakt:

Dr.-Ing. Cornelia Stübig
 ☎ +49 (0) 511 / 762 - 2874
 ✉ stuebig@ial.uni-hannover.de

Das Institut
The Institute



Mitarbeiter des IAL im Sommer 2013
IAL staff in summer 2013

Mitarbeiter des IAL

Auf den folgenden Seiten präsentieren sich die Mitarbeiter des IAL. Aber auch über die Institutsleiter gibt es Neues zu berichten: Prof. Mertens lenkt seit April 2013 als Dekan die Geschicke der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik. Prof. Ponick wurde als Studiendekan wiedergewählt und ist damit ebenfalls Mitglied des Dekanats. Beide Professoren haben zudem im Nebenamt die Leitung jeweils einer Abteilung im Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) übernommen.

In den letzten zwei Jahren ist die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter leicht auf aktuell 36 gestiegen. Die Herren Baruschka, Braunisch, J. Emmrich, Getschmann, Janssen, Köneke, Kriese, Shams El-Deen, Tegeler, Werner und Wöhrmann haben uns turnusmäßig nach vier bis fünf Jahren verlassen. An Neuzugängen freuen wir uns über Frau Haberjan und Frau Korolova sowie über die Herren Dörbaum, Heseding, Jürgens, Karwatzki, Krone, Misir, Moriße, Müller-Deile, Narjes, Oelkers, Schroeder, B. Weber, N. Weber und S. Weber.

Herr Dr. Wiedmann hat das IAL nach gut vier Jahren als wissenschaftlicher Mitarbeiter und knapp zwei Jahren als Oberingenieur für Leistungselektronik in Richtung Industrie verlassen. Seine Rolle hat Herr Dipl.-Ing. Robert Meyer übernommen. Frau Dr. Stübiger verantwortet nach ihrer herausragenden Rolle bei der Beantragung des geplanten Sonderforschungsbereichs "Dynamische Wechselwirkungen in elektromechanischen Energiesystemen" nun die Nachwuchsförderung und Öffentlichkeitsarbeit des IAL.

Auch aus Geschäftszimmer und Werkstatt gibt es Neues zu berichten: Frau Duensing hat das IAL nach fast acht Jahren verlassen, um sich voll ihrem Übersetzungsbüro widmen zu können, steht uns aber weiterhin für Fachübersetzungen und Lektorat zur Verfügung. Für die administrativen Aufgaben in unserem Geschäftszimmer haben wir Frau Dipl.-Jur. Beate Pieschel und Frau M.A. Mirka Gewinner neu hinzugewinnen können. Frau Singer wird sich künftig stärker um die finanzielle Projektabwicklung kümmern.

Unsere Werkstatt wird seit dem vergangenen Oktober durch Herrn Torsten Winkler ergänzt, da Herr Larivière die Betreuung unseres neuen Großprüfstands im „Testzentrum für Tragstrukturen“ übernommen hat. Unseren Werkstattmeister Herrn Selke beglückwünschen wir zu seinem 20jährigen Institutsjubiläum.

Staff of IAL

In the following, we would like to present you our staff members. But there is also some news about the two directors of the institute: In April 2013, Prof. Mertens was elected Dean of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science. As re-elected Academic Dean, Prof. Ponick is staying a member of the Dean's Office. Moreover, each professor additionally took over the direction of one department at Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology (IWES).

During the last two years, the number of research associates has slightly increased to actually 36 members. Messrs. Baruschka, Braunisch, J. Emmrich, Getschmann, Janssen, Köneke, Kriese, Shams El-Deen, Tegeler, Werner und Wöhrmann left after four to five years research at IAL. As new research associates, we welcome Mrs. Haberjan and Mrs. Korolova as well as Messrs. Dörbaum, Heseding, Jürgens, Karwatzki, Krone, Misir, Moriße, Müller-Deile, Narjes, Oelkers, Schroeder, B. Weber, N. Weber and S. Weber.

Dr. Wiedmann left IAL after four years as research associate and nearly two years as senior engineer for power electronics to take over a job in industry. He is succeeded by Dipl.-Ing. Robert Meyer. Dr. Stübiger, who played an outstanding role in the coordination of the intended Collaborative Research Center "Dynamic interactions in electromechanical energy systems", is now responsible for public relations and recruiting young talents at IAL.

There is also some news of our office and our technical staff: After nearly eight years at IAL, Mrs. Duensing left our office to be able to concentrate full-time on her translation agency, but will continue to provide us with on-demand support in all technical translation issues. To back up our office team, we are pleased to welcome Mrs. Dipl.-Jur. Beate Pieschel and Mrs. M.A. Mirka Gewinner, being responsible for all administrative tasks. Mrs. Singer will deal to a larger extent with the financial part of our projects.

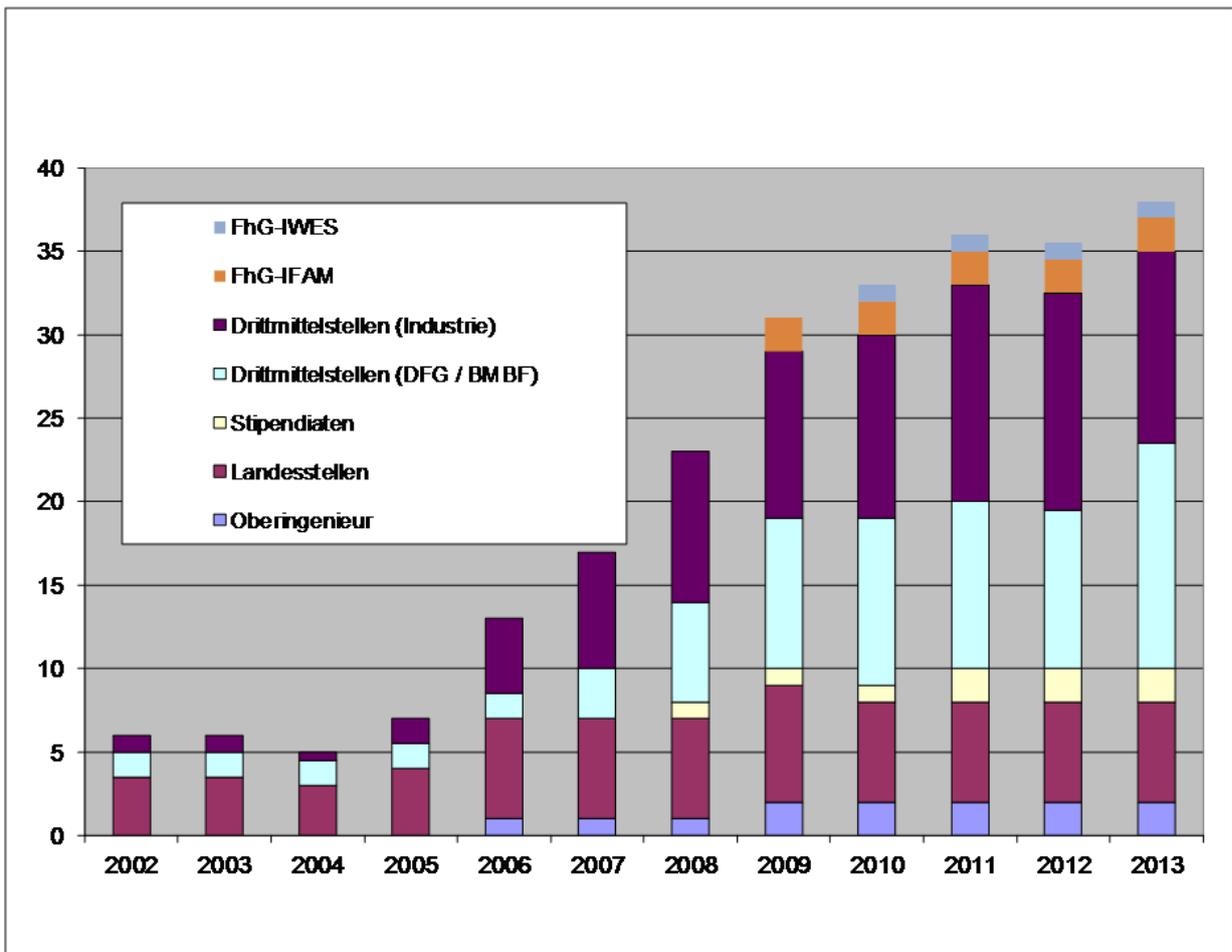
Last October, Mr. Torsten Winkler joined our technical staff to support Mr. Larivière who is now also in charge of our new large-scale test bench being erected at the "Test Center for Support Structures". Moreover, we would like to thank our foreman, Mr. Selke, for twenty years of dedicated work at IAL.

In addition to Dr. Hofstetter, Dr. Gent and Dr. Kanschat are enhancing as new external lecturers our curriculum from winter 2013/14 on. Unfortunately, Prof. Huth was not able to renew his lectureship for personal reasons. We would like to express our gratitude to Prof. Huth for nearly twenty years of education at IAL.

The last years' success has mainly been achieved thanks to the outstanding skills and the enormous commitment of every single member of our staff. At this point, we would like to thank everybody, hoping for many future years of fruitful cooperation.

Als neue Lehrbeauftragte bereichern zum WS 2013/14 zusätzlich zu Herrn Dr. Hofstetter die Herren Dr. Gent und Dr. Kanschat das Lehrangebot des IAL. Bedauerlicherweise hat Prof. Huth seinen Lehrauftrag aus persönlichen Gründen nicht verlängern können. Wir danken ihm für fast 20 Jahre Lehre am IAL.

Die Erfolge der vergangenen Jahre beruhen maßgeblich auf den hervorragenden Fähigkeiten und dem hohen Engagement unserer Mitarbeiter in allen Bereichen. Dafür möchten wir an dieser Stelle unseren besonderen Dank aussprechen.



Stand Dezember 2013 ♦ Updated December 2013

Mitarbeiter des IAL ♦ IAL Staff Members

(Updated December 2013)



Prof. Dr.-Ing.
Axel Mertens
Leistungselektronik
& Antriebsregelung
Power Electronics
& Drive Control



Prof. Dr.-Ing.
Bernd Ponick
Elektrische Maschinen
& Antriebssysteme
Electrical Machines
& Drive Systems



Prof. i.R. Dr.-Ing.
Johannes Nestler
Leistungselektronik
Power Electronics



em. Prof. Dr.-Ing.
H. O. Seinsch
Elektrische Maschinen
Electrical Machines



Prof. i.R. Dr.-Ing.
H.-D. Stölting
Elektrische
Kleinmaschinen
Small Electrical
Machines



Dr. jur. M.L.E.
Kai Gent
Gastdozent
External Lecturer



Dr.-Ing.
M. Hofstetter
Gastdozent
External Lecturer



Dr. rer. nat.
Peter Kanschat
Gastdozent
External Lecturer



Dr.-Ing.
Jörn Steinbrink
Oberingenieur
Senior Engineer



Dr.-Ing.
Cornelia Stübiger
Oberingenieurin
Senior Engineer



Dr.-Ing.
Volker Schöber
GF „Energie 2050“
MD „Energy 2050“



M. A.
Mirka Gewinner
Verwaltung
Administration



Dipl.-Jur.
Beate Pieschel
Verwaltung
Administration



Betriebswirtin
N. Schulz-Meden
Verwaltung
Administration



Dipl.-Ing. (FH) LL.M. (Com.)
Iris Singer
Verwaltung
Administration



MSR-Techniker
Udo Grendler
Tech. Angestellter
Technical Staff



Dipl.-Ing. (FH)
Clemens Larivière
Tech. Angestellter
Technical Staff



Industriemeister
Carsten Selke
Tech. Angestellter
Technical Staff



Energieanlagenelektroniker
Torsten Winkler
Tech. Angestellter
Technical Staff

Wissenschaftliche Mitarbeiter ♦ Research Associates



Dipl.-Ing.
Florian Boseniuk



M. Sc.
D. Bresemann



M. Sc.
Eva Bresemann



Dipl.-Ing.
Andre Brune



Dipl.-Ing.
Lan Dang Hung



Dipl.-Ing.
René Dietz



Dipl.-Ing.
Michael Dörbaum



Dipl.-Ing.
Peter Dück



Dipl.-Ing.
Kacper Emmrich



Dipl.-Ing.
Felix Fuchs



Dipl.-Ing.
Lena Haberjan



M. Sc.
Hannes Heseding



Dipl.-Ing.
Malte von Hofen



Dipl.-Ing.
Jonathan Jürgens



Dipl.-Ing.
Peter Juris



M. Sc.
D. Kaczorowski



M. Sc.
Rashid Karimi



Dipl.-Ing.
Dennis Karwatzki



M. Sc.
Olga Korolova



M. Sc.
Jaroslav Koupený



Dipl.-Ing.
Tobias Krone



Dipl.-Ing.
Henrik Krupp



Dipl.-Ing.
Arvid Merkert



Dipl.-Ing.
Robert Meyer



Dipl.-Ing.
Onur Misir



Dipl.-Ing.
Marcel Moriß



Dipl.-Ing.
Felix Müller-Deile



Dipl.-Ing.
Gerrit Narjes



Dipl.-Ing.
Fabian Oelkers



Dipl.-Ing.
F. Quattrone



Dipl.-Ing.
Henrik Schroeder



Dipl.-Ing.
Bernhard Ullrich



M. Sc.
Bastian Weber



Dipl.-Ing.
Niklas Weber



M. Sc.
Simon Weber



Dipl.-Ing.
Meike Wehner

Ehemalige Mitarbeiter und Doktoranden 2012/2013
Former Staff Members and PhDs 2012/2013



Dr.-Ing.
Lennart Baruschka
 wiss. Mitarbeiter
 Research Ass.



Dipl.-Ing.
Dirk Braunisch
 wiss. Mitarbeiter
 Research Ass.



Dipl.-Fachübers.
Petra Duensing
 Verwaltung
 Administration



Dipl.-Ing.
Jakub Emmrich
 wiss. Mitarbeiter
 Research Ass.



Dipl.-Ing.
Thorsten Getschmann
 wiss. Mitarbeiter
 Research Ass.



Prof. Dr.-Ing.
Gerhard Huth
 Gastdozent
 External Lecturer



M. Sc.
Gerd Janssen
 wiss. Mitarbeiter
 Research Ass.



Dipl.-Ing.
Thies Köneke
 wiss. Mitarbeiter
 Research Ass.



Dipl.-Ing.
Michael Kriese
 wiss. Mitarbeiter
 Research Ass.



M. Sc.
M. Shams El-Deen
 Stipendiat
 Visiting Scholar



Dipl.-Ing.
Sebastian Tegeler
 wiss. Mitarbeiter
 Research Ass.



Dr.-Ing.
Christopher Veeh
 ext. wiss. Mitarbeiter
 Ext. Research Ass.



Dipl.-Ing.
Timur Werner
 wiss. Mitarbeiter
 Research Ass.



Dr.-Ing.
Karsten Wiedmann
 Oberingenieur
 Senior Engineer



Dipl.-Ing.
Michael Wöhrmann
 wiss. Mitarbeiter
 Research Ass.

Chronik 2012/2013

Chronicle 2012/2013

Januar 2012

11.01.

Exkursion zur GE Wind Energy GmbH, Salzbergen



12.01.–15.01.

Skiwochenende in Marianska (Erholungsheim der Tschechischen Akademie der Wissenschaften Prag)

19.01.

Seminar von Prof. Mertens zu „Umrichter für Windenergieanlagen“ im Haus der Technik, Essen

27.01.

Exkursion zur Fa. Infineon, Warstein

Februar 2012

01.02.

Malte von Hofen beginnt als Assistent am IAL.

06.02.–08.02.

Ausrichtung der Energieforschungsmesse unter Leitung von Prof. Mertens und Dr. Schöber; A. Brune, P. Dück, D. Kaczorowski, A. Merkert, B. Ullrich und K. Wiedmann stellen ein Poster zu E-Antrieb.NET-Teilprojekten vor; M. Kriese zeigt ein Poster zur Vorausberechnung von Lagerströmen.

08.02.

Feuerzangenbowle am IAL für alle studentischen Hilfskräfte

23.02.

Beratungsgespräch für den geplanten SFB 1072 „Dynamische Wechselwirkungen“ in Bonn

24.02.

Promotion von Niklas Rüger und anschließende gemeinsame Doktorfeier von Niklas Rüger und Harald Kuhn

März 2012

16.03.

Gemeinsame Doktorfeier von Cornelia Stübig und Rainer Helmer

31.03.

Letzter Arbeitstag von Petra Duensing und Michael Kriese

April 2012

03.04.

Vortrag von Prof. Lorenz, Madison, USA im IAL zum Thema „Disruptive Changes in Paradigms for Modern Power Electronics and Electrical Drives“

04.04.

Promotion mit anschließender Doktorfeier von Karsten Wiedmann

05.04.

Exkursion zum Technologiezentrum Isenbüttel der Volkswagen AG

19.04.

IAL-Bowlingabend

Mai 2012

01.05.

Dennis Karwatzki beginnt als Assistent am IAL.

15.05.

Beate Pieschel beginnt im Geschäftszimmer des IAL.

29.05.–01.06.

Pfingstexkursion ins Ruhrgebiet zu den Firmen AEG, ThyssenKrupp, Siemens Mülheim, Schorch und Braunkohletagebau Hambach in Velden sowie Besichtigung der Möhnetalsperre

**Juni 2012****01.06.**

Tobias Krone beginnt als Assistent am IAL.

12.06.

Rollout des neuen Formula Student-Rennwagens EH12 des Teams HorsePower im PZH, Garbsen

**13.06.**

Teilnahme des IAL-Fußballteams „Immer am Limit“ am Hochschul-Sportfest 2012

14.06.

Ausrichtung des Workshops des Industriekreises Antriebsstrang zum Projekt Offshore-Windenergieanlagen mit Vorträgen von Prof. Ponick und F. Fuchs

21.06.

Eingeladener Vortrag von Prof. Ponick auf der WMM'12 in Gent, Belgien

22.06.

Treffen „Leistungselektronik Nord“ in Kiel mit Vorträgen von T. Krone und J. Koupený

Juli 2012**01.07.**

Onur Misir beginnt als Assistent am IAL.

11.07.

Gastvorlesung von Dr. Schacht (DIN-Software) zu Normung in der Vorlesung "Elektronisch betriebene Kleinmaschinen"

August 2012**01.08.**

Michael Dörbaum beginnt als Assistent am IAL.

23.08.

Betriebsausflug mit Radtour zum Hochseilgarten am Steinhuder Meer

29.08.

Die Protolar GmbH der IAL-Assistenten L. Baruschka, T. Köneke und A. Merkert erhält den Förderpreis „Gründercampus Niedersachsen“.

September 2012**04.09.–06.09.**

Vorträge von Dr. Wiedmann und R. Meyer sowie ein Poster von F. Fuchs auf der EPE - PEMC 2012 ECCE Europe in Novi Sad, Serbien

07.09.–08.09.

Eingeladener Vortrag von Prof. Mertens auf der IEEE FEPPCON VII in Novi Sad, Serbien

12.09.–13.09.

Vorträge von P. Dück und A. Merkert auf der E-Motive-Fachtagung in Fellbach

16.09.–20.09.

Vorträge von R. Meyer und F. Quattrone auf der ECCE in Raleigh, USA

19.09.

Eingeladener Vortrag von Prof. Ponick auf der Mechatronics 2012 in Linz, Österreich

Oktober 2012**09.10.–11.10.**

Symposium des IAL mit dem Institut für Thermomechanik der Tschechischen Akademie der Wissenschaften, Prag, mit Vorträgen von R. Meyer, P. Dück, J. Emmrich, D. Braunisch, Dr. Wiedmann, L. Baruschka und Prof. Ponick sowie einer Exkursion zu Enercon in Magdeburg

**09.10.–12.10.**

Vorträge von A. Merkert, P. Juris, A. Kock und A. Brune auf der VPCC in Seoul, Südkorea

17.10.

Lennart Baruschka gewinnt den ETG-Literaturpreis des VDE.

18.10.

Institutsvorstellung mit Begehung im Rahmen der „Werkstattgespräche“

25.10.–26.10.

Seminar von Prof. Mertens, Prof. Ponick und Prof. Stölting zu „Grundlagen elektrischer Antriebe“ im Haus der Technik, Essen

26.10.

Dr. Karsten Wiedmann erhält den Förderpreis der Stiftung NiedersachsenMetall 2012 für seine herausragende Dissertation.

November 2012**01.11.**

Felix Müller-Deile beginnt als Assistent am IAL.

08.11.–09.11.

FEMAG-Anwendertreffen in Offenbach mit fast 150 Teilnehmern und Vorträgen von P. Juris und Dr. Steinbrink

15.11.

Vortrag von Prof. Ponick auf dem IWES Expert Meeting zu Windenergie in Laatzen

29.11.

Grundsteinlegung für das neue „Testzentrum für Tragstrukturen“ in Hannover-Marienwerder mit dem GeCoLab des IAL

29.11.–30.11.

Seminar von Prof. Mertens und Prof. Ponick zu „Wechselwirkungen zwischen Motor und Frequenzumrichter“ im Haus der Technik, Essen

30.11.

Letzter Arbeitstag von Dirk Braunisch

Dezember 2012**03.12.**

Vorträge von Prof. Ponick und Prof. Mertens auf dem CTI-Getriebesymposium in Berlin

05.12.

Onur Misir erhält den E.ON Future Award 2012 für seine Diplomarbeit.

05.12.–06.12.

Vorträge von B. Ullrich, S. Tegeler, P. Dück, J. Koupený und D. Bresemann auf der FVA-Infotagung in Würzburg

13.12.

Weihnachtsfeier mit aktiven und ehemaligen Mitarbeitern sowie den Studenten des Instituts

31.12.

Letzter Arbeitstag von Gerd Janssen und Lennart Baruschka

Januar 2013

01.01.

Marcel Moriße und Fabian Oelkers beginnen als Assistenten am IAL.

10.01.–13.01.

Skiwochenende in Marianska (Erholungsheim der Tschechischen Akademie der Wissenschaften Prag)



24.01.

Seminar von Prof. Mertens zu „Umrichter für Windenergieanlagen“ im Haus der Technik, Essen

28.01.

Promotion von Kay-Horst Dempewolf

Februar 2013

05.02.–07.02.

Ausrichtung der Energieforschungsmesse im Lichthof der LUH unter Leitung von Prof. Mertens und Dr. Schöber mit vielen Postern des IAL zu Mobilität, Energienetzen und Windenergie sowie Vorträgen von Prof. Mertens



18.02.

Eingeladener Vortrag von Prof. Ponick auf der IQPC in Nürnberg

20.02.

Feuerzangenbowle am IAL für alle studentischen Hilfskräfte

März 2013

05.03.

Ausrichtung des Industrie-Workshops „Funktionssichere Synchronmaschine“ durch A. Kock, T. Krone und F. Oelkers im IFAM Bremen

11.03.–12.03.

Einrichtungsbegehung für den geplanten SFB 1072 „Dynamische Wechselwirkungen“

14.03.–17.03.

L. Baruschka stellt ein Poster auf dem „Indo-German Frontiers of Engineering“-Symposium der Humboldt Stiftung in Hyderabad, Indien, vor.

25.03.

Gastvortrag von Prof. Schneider zu Elektroblechen am IAL

April 2013

15.04.

Niklas Weber beginnt als Assistent am IAL.

Mai 2013

03.05.

Verleihung des Studienpreises der SEW-Eurodrive-Stiftung an Peter Dück für seine Diplomarbeit

13.05.

Eingeladener Vortrag von Prof. Mertens auf dem VDI/VDE-Workshop Leistungselektronik in Nürnberg

15.05.

F. Fuchs und R. Dietz stellen ein Poster bei der SmartNord-Zwischenevaluation in Oldenburg vor.

15.05.

Mirka Gewinner beginnt im Geschäftszimmer des IAL.

Eingeladener Vortrag von Prof. Ponick auf der PCIM in Nürnberg

Juni 2013**01.06.**

Hannes Heseding beginnt als Assistent am IAL.

07.06.

Treffen Leistungselektronik Nord in Magdeburg mit einem Vortrag von D. Kaczorowski

Rollout des neuen Formula Student-Rennwagens EH13 des Teams HorsePower im PZH, Garbsen

10.06.

Promotion von Christopher Veeh

18.06.

Richtfest des neuen „Testzentrums für Tragstrukturen“ in Hannover-Marienwerder mit dem GeCoLab des IAL

**18.06.**

Teilnahme des IAL-Fußballteams „Immer am Limit“ am Sportfest 2013 mit 13:1 Toren in vier Spielen

**19.06.–20.06.**

Eingeladener Vortrag von Prof. Mertens auf der Tagung „Smart Grid Nord“ in Hannover

Juli 2013**03.07.–07.07.**

Das Team HorsePower beteiligt sich mit dem Rennwagen EH13 in Silverstone an der Formula Student UK.

15.07.

Henrik Schroeder und Bastian Weber beginnen als Assistenten am IAL.

21.07.–25.07.

Workshop „Entwicklung und Konstruktion eines Quadrocopters“ von F. Oelkers, O. Misir und N. Weber auf der Talente-Akademie für Schülerinnen und Schüler in Mellendorf

22.07.

Promotion von Lennart Baruschka

30.07.–04.08.

Das Team HorsePower erreicht den 7. Platz bei der Formula Student Germany in Hockenheim.

**August 2013****14.08.**

Betriebsausflug zum Blauen See in Garbsen

24.08.–01.09.

Präsentation des IAL auf der IdeenExpo

**28.08.–01.09.**

Das Team HorsePower gewinnt den 2. Platz bei der Formula Student Spain in Barcelona.

September 2013**15.09.**

Lena Haberjan beginnt als Assistentin am IAL.

15.09.–19.09.

Vorträge von R. Meyer, D. Kaczorowski und F. Fuchs auf der ECCE in Denver, USA

20.09.

Prof. Ponick und M. Wöhrmann halten Vorträge auf der 9. GMM/ETG-Fachtagung „Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik 2013“ in Nürnberg.

23.09.

P. Dück, A. Brune, F. Boseniuk, F. Müller-Deile und D. Kaczorowski stellen ein Poster auf dem NFF-Doktorandentag vor.

24.09.

Vortrag von Prof. Ponick auf dem „Technischen Tag 2013“ von VEM in Wernigerode

Oktober 2013**01.10.**

Gerrit Narjes beginnt als Assistent am IAL.

Rashidreza Karimi beginnt als Stipendiat am IAL.

10.10.–11.10.

FEMAG-Anwendertreffen in Zürich, gleichzeitig 30jähriges Jubiläum für FEMAG, mit 145 Teilnehmern; Vortrag von Dr. Steinbrink

15.10.

Jonathan Jürgens beginnt als Assistent, Torsten Winkler als Energieanlagenelektroniker am IAL.

24.10.–25.10.

Seminar von Prof. Mertens, Prof. Ponick und Prof. Stölting zu „Grundlagen elektrischer Antriebe“ im Haus der Technik, Essen

November 2013**04.11.–06.11.**

P. Dück, S. Tegeler, F. Fuchs, J. Koupený und P. Juris halten Vorträge auf dem ETG-Kongress in Berlin.

14.11.–15.11.

Seminar von Prof. Mertens und Prof. Ponick zu „Wechselwirkungen zwischen Motor und Frequenzumrichter“ im Haus der Technik, Essen

15.11.

Olga Korolova und Gerrit Narjes beginnen als Assistenten am IAL.

Veröffentlichungen 2012/2013

Publications 2012/2013

Aufsätze in Fachzeitschriften 2012 Journal Articles 2012

Denkena, B.; Bickel, W.; Emmrich, J.; Ponick, B.

Entwurf eines innovativen Spindel motors zur Erhöhung der Prozessstabilität von Frässpindeln

Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, Nr. 07-08, pp. 518-521, 2012

Ganesan, V.; Wiedmann, K.; Janssen, G.; Ponick, B.; Mertens, A.

Development of Drive Systems Based on Electromagnetic Micro Actuators

IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 59, no. 3, pp.1409-1417, 2012

Mertens, A.; Fuchs, F.; Baruschka, L.

Wandler im Meerespuls

Erneuerbare Energien, 07/2012, pp. 36-39, 2012

Stübig, C.; Ponick, B.

Comparison of Calculation Methods for Hybrid Stepping Motors

IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 48, no. 6, pp. 2182-2189, 2012

Konferenzbeiträge 2012 Conference Articles 2012

Brune, A.; Dück, P.; Kock, A.; Gröninger, M.; Ponick, B.

Evaluation of an Efficiency-optimized Calculation of PM Synchronous Machines' Operating Range Using Time-saving Numerical and Analytical Coupling

Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Seoul, Korea, pp. 32-35, 2012

Emmrich, J.; Bickel, W.; Denkena, B.; Ponick, B.

Design of an Integrated Electromagnetic Actuator for High Frequency Damping Forces

20th International Conference on Electrical Machines (ICEM), Marseille, France, pp. 1957-1963, 2012

Fuchs, F.; Mertens, A.

Dynamic Modeling of a 2 MW Wind Turbine for Converter Issues: Part 1

15th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (EPE-PEMC 2012 ECCE Europe), Novi Sad, Serbia, pp. DS2d.5-1 – DS2d.5-7, 2012

Juris, P.; Brune, A.; Ponick, B.

A Coupled Thermal-Electromagnetic Energy Consumption Calculation for an Electric Vehicle with Wheel Hub Drive Considering Different Driving Cycles

Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Seoul, Korea, pp. 28-31, 2012

Kriese, M.; Wittek, E.; Gattermann, S.; Tischmacher, H.; Poll, G.; Ponick, B.

Influence of Bearing Currents on the Bearing Lifetime for Converter-driven Machines

20th International Conference on Electrical Machines (ICEM), Marseille, France, pp. 1735-1739, 2012

Merkert, A.; Krone, T.; Mertens, A.

Characterization and Scalable Modeling of Power Semiconductors for Optimized Design of Traction Inverters with Si and SiC Devices

Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Seoul, Korea, pp. 647-652, 2012

Meyer, R.; Mertens, A.

Design and Optimization of LCL Filters for Grid-Connected Converters

15th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (EPE-PEMC 2012 ECCE Europe), Novi Sad, Serbia, LS7a.1-1 – LS7a.1-6, 2012

Meyer, R.; Mertens, A.

Design of LCL Filters in Consideration of Parameter Variations for Grid-Connected Converters

IEEE Energy Conversion Congress & Exposition (ECCE), Raleigh, NC, USA, pp. 557-564, 2012

Sonnenschein, M.; Appelrath, H.-J.; Hofmann, L.; Kurrat, M.; Lehnhoff, S.; Mayer, C.; Mertens, A.; Uslar, M.; Nieße, A.; Tröschel, M.

Dezentrale und selbstorganisierte Koordination in Smart Grids

VDE-Kongress 2012 „Smart Grid - Intelligente Energieversorgung der Zukunft“, Stuttgart, 2012

Stübig, C.; Ponick, B.

Practical Experiment for Students: Winding an Induction Machine

20th International Conference on Electrical Machines (ICEM), Marseille, France, pp. 3056-3061, 2012

Wiedmann, K.; Mertens, A.

Self-Sensing Control of PM Synchronous Machines for the Entire Speed Range with Reduced Computational Effort Based on a Novel MRAS Approach

6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012), Bristol, UK, pp. 1-6, 2012

Wiedmann, K.; Mertens, A.

Novel MRAS Approach for Online Identification of Key Parameters for Self-Sensing Control of PM Synchronous Machines

15th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (EPE-PEMC 2012 ECCE Europe), Novi Sad, Serbia, pp. LS4b-1.2-1 – LS4b-1.2-8, 2012

Wiedmann, K.; Mertens, A.

Self-Sensing Control of PM Synchronous Machines Including Online System Identification Based on a Novel MRAS Approach

3rd IEEE International Symposium on Sensorless Control for Electrical Drives (SLED 2012), Milwaukee, WI, USA, pp. 1-8, 2012

Wittek, E.; Kriese, M.; Tischmacher, H.; Gattermann, S.; Ponick, B.; Poll, G.

Capacitance of Bearings for Electric Motors at Variable Mechanical Loads

20th International Conference on Electrical Machines (ICEM), Marseille, France, pp. 1602-1607, 2012

Buchbeiträge 2012 Books 2012

Rüger, N.

Zur Anwendung eines bandseparierenden Modulationsverfahrens mit niedrigen Taktzahlen in der Leistungselektronik

Dissertation, VDI-Fortschrittsbericht Nr. 402, Reihe 21, Elektrotechnik, VDI-Verlag, 2012

Stübig, C.

Effiziente Berechnungsverfahren für Hybrid-schrittmotoren

Dissertation, VDI-Fortschrittsbericht Nr. 400, Reihe 21, Elektrotechnik, VDI-Verlag, 2012

Wiedmann, K.

Positionsgeberloser Betrieb von permanentmagneterregten Synchronmaschinen

TIB Hannover, Univ., Diss., Online-Ress. 2012, <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dh12/723743436.pdf>

Aufsätze in Fachzeitschriften 2013 Journal Articles 2013

Baruschka, L.; Mertens, A.

A New Three-Phase AC/AC Modular Multilevel Converter with Six Branches in Hexagonal Configuration

IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 49, no. 3, pp. 1400-1410, 2013

Dang, L.; Kuhn, H.; Mertens, A.

Digital Adaptive Driving Strategies for High-Voltage IGBTs

IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 49, no. 4, pp. 1628-1636, 2013

Kampen, D.; Quattrone, F.; Ponick, B.

Frequenzumrichterbedingte Lagerströme: was wirklich hilft

Antriebstechnik 09/2013, pp. 56-58, 2013

Konferenzbeiträge 2013 Conference Articles 2013

Braunisch, D.; Ponick, B.; Bramerdorfer, G.

Combined Analytical-Numerical Noise Calculation of Electrical Machines Considering Non-sinusoidal Mode Shapes

IEEE Transactions on Magnetics, vol. 49, no. 4, pp. 1407 – 1415, 2013

Dörbaum, M.; Juris, P.; Stübig, C.; Ponick, B.

Design of High-Speed Motors with a High Power Range for Use in Future Aircrafts

PCIM Europe 2013, Nürnberg, 2013

Dück, P.; Ponick, B.

Einfluss unterschiedlicher Regelungsstrategien auf das Betriebsverhalten und den Wirkungsgrad von permanentmagneterregten Synchronmaschinen

ETG-Kongress, Berlin, 2013

Emmrich, J.; Ponick, B.; Bickel, W.; Denkena, B.

Analysis of an Integrated Electromagnetic Actuator Prototype

Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik (GMM-FB 76), Nürnberg, 2013

Fuchs, F.; Pham, D. V.; Mertens, A.

Einfluss der Netzimpedanz auf die Dynamik der netzseitigen Stromregelung am Beispiel einer Windenergieanlage

ETG-Kongress, Berlin, 2013

Fuchs, F.; Pham, D. V.; Mertens, A.

Analysis of Grid Current Control in Consideration of Voltage Feedforward and Cable Capacitance Demonstrated on a Fully Sized Wind Turbine Installed in a Wind Park

IEEE Energy Conversion Congress & Exposition (ECCE), Denver, Colorado, USA, pp. 3325-3332, 2013

Hofen, M. v.; Baruschka, L.; Karwatzki, D.; Mertens, A.

Comparison of Modular Multilevel Converters for the Grid Connection of Large-Scale Wind Turbines

Wind Integration Workshop, London, 2013

Juris, P.; Brune, A.; Tegeler, S.; Ponick, B.

Einfluss der Magnetmaterialien auf die Energieeffizienz elektrischer Fahrzeugantriebe für verschiedene Fahrzyklen

ETG-Kongress, Berlin, 2013

Karimi, R.; Köneke, T.; Kaczorowski, D.; Werner, T.; Mertens, A.

Low Voltage and High Power DC-AC Inverter Topologies for Electric Vehicles

IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Denver, Colorado, USA, pp. 2805-2812, 2013

Koupený, J.; Bresemann, D.; Orsini, C.; Mertens, A.; Ponick, B.; Seume, J.

Steigerung der Energieeffizienz durch intelligente Nutzung elektrischer Antriebssysteme

ETG-Kongress, Berlin, 2013

Meyer, R.; Zlotnik, A.; Mertens, A.

Fault Ride Through Control of Medium-Voltage Converters with LCL Filter in Distributed Generation Systems

IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Denver, Colorado, USA, pp. 1954-1961, 2013

Tegeler, S.; Ponick, B.

Einfluss der Schrägung auf die Ummagnetisierungsverluste bei Drehfeldmaschinen

ETG-Kongress, Berlin, 2013

Teichel, S.; Dörbaum, M.; Ponick, B.; Seume, J.

Compact Dynamic Compressors for Active Flow Control in Autonomous High Lift Configurations, SFB 880 - Fundamentals of High-lift for Future Commercial Aircraft

Biennial Report - Forschungsbericht 2013-03, TU Braunschweig, 2013

Wöhrmann, M.; Dörbaum, M.; Ponick, B.; Mertens, A.

Design of a Fully Actuated Electromagnetic Bending Actuator for Endoscopic Applications

9. GMM/ETG-Fachtagung „Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik“ (IKMT), Nürnberg, pp. 152-157, 2013

Buchbeiträge 2013

Books 2013

Baruschka, L.

Untersuchung des modularen Direktumrichters "Hexverter"

TIB Hannover, Univ., Diss., Online-Ress. 2013, <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dh13/756895901.pdf>

Dempewolf, K.-H.

Modellierung des dynamischen Verhaltens permanentmagneterregter Synchronmaschinen

Dissertation, VDI-Fortschrittsbericht Nr. 407, Reihe 21, Elektrotechnik, VDI-Verlag, 2013

Veeh, C.

Oberwellenorientierte Wicklungsmodifikation von permanentmagneterregten Synchronmaschinen mit Zahnspulenwicklung

Dissertation, VDI-Fortschrittsbericht Nr. 408, Reihe 21, Elektrotechnik, VDI-Verlag, 2013

Veranstaltungen 2012/2013

Events 2012/2013

2012

06.-08.02.

Energieforschungsmesse mit Postern zu E-Antrieb.NET-Teilprojekten und zur Vorausberechnung von Lagerströmen

09.10.-11.10.

Symposium zwischen dem Institut für Thermomechanik der Tschechischen Akademie der Wissenschaften/ Prag und dem IAL in Hannover mit folgenden Vorträgen:

Dück, P.

Electromagnetic and Thermal Calculation of PM Synchronous Machines with Time-saving Numerical and Analytical Coupling for Electric Vehicles

Schreier, L.; Bendl, J.; Chomat, M.

Effect of Spatial Harmonics on Properties of Multi-Phase Induction Machines

Meyer, R.

Design of LCL Filters in Consideration of Parameter Variations for Grid-Connected Converters

Bejvl, M.; Šimek, P.; Škramlík, J.; Valouch, V.

PLL Strategies of Grid Connected Inverters under Distorted Input Voltages

Emmrich, J.

Design of an Integrated Electromagnetic Actuator for High Frequency Damping Forces

Schreier, L.; Bendl, J.; Chomat, M.

Influence of Configuration of Five-Phase Induction Machine Stator on Currents and Torques

Braunisch, D.

Combined Analytical-Numerical Method for the Vibration and Noise Calculation of PM Machines

Bejvl, M.; Šimek, P.; Škramlík, J.; Valouch, V.

Review of Control Strategies of PWM Rectifiers Connected to Unbalanced Grids

Wiedmann, K.

Sensorless Control of PM Synchronous Machines Based on a Novel MRAS Approach

Kokeš, P.; Semerád, R.

Active Control of Flying Capacitor Currents in Multilevel Voltage-Source Inverter

Baruschka, L.

A New 3-Phase AC/AC Modular Multilevel Converter with Six Branches in Hexagonal Configuration

Večerka, T.

Pulse-Width Modulations for Voltage Inverters of Medium and Higher Power

Ponick, B.

Prediction of Bearing Currents in Inverter-Fed Motors

08.-09.11.

FEMAG-Anwendertreffen 2012 mit folgenden Vorträgen:

Juris, P.

Berechnung des Energieverbrauchs und der Temperaturverteilung eines elektrischen Fahrzeugantriebs für charakteristische Fahrzyklen mittels gekoppelter elektromagnetisch-thermischer Modelle

Steinbrink, J.

Analyse unterschiedlicher PM-Designs

2013**05.-07.02.**

Energieforschungsmesse im Lichthof der LUH mit Postern zu Mobilität, Energienetzen und Windenergie

10.10.-11.10.

FEMAG-Anwendertreffen 2013 mit folgendem Vortrag:

Steinbrink, J.

Eisenverluste bei mono-, mehr- und hochfrequenter Speisung im Einzelblatttester

Auszeichnungen 2012/2013

Awards 2012/2013

2012**29.08.**

Die Protolar GmbH der IAL-Assistenten Lennart Baruschka, Thies Köneke und Arvid Merkert erhält den Förderpreis „Gründercampus Niedersachsen“.

17.10.

Lennart Baruschka wird mit dem VDE/ETG-Literaturpreis für seine Veröffentlichung zum Thema Energiespeicher ausgezeichnet.

26.10.

Dr. Wiedmann erhält im Rahmen der Viktor Rizkallah-Stiftung den Förderpreis der Stiftung NiedersachsenMetall 2012 für seine herausragende Dissertation.

05.12.

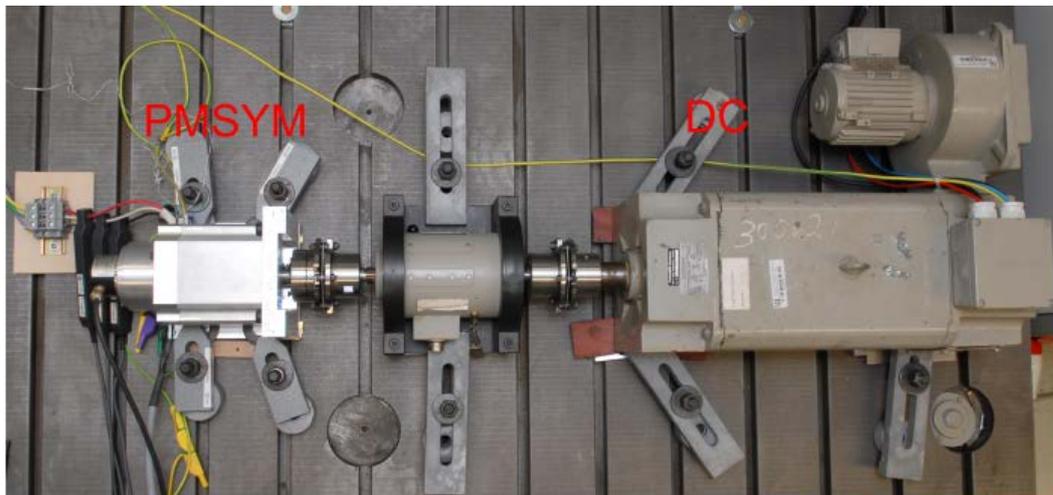
Onur Misir erhält den E.ON Future Award 2012 für seine Diplomarbeit.

2013**03.05.**

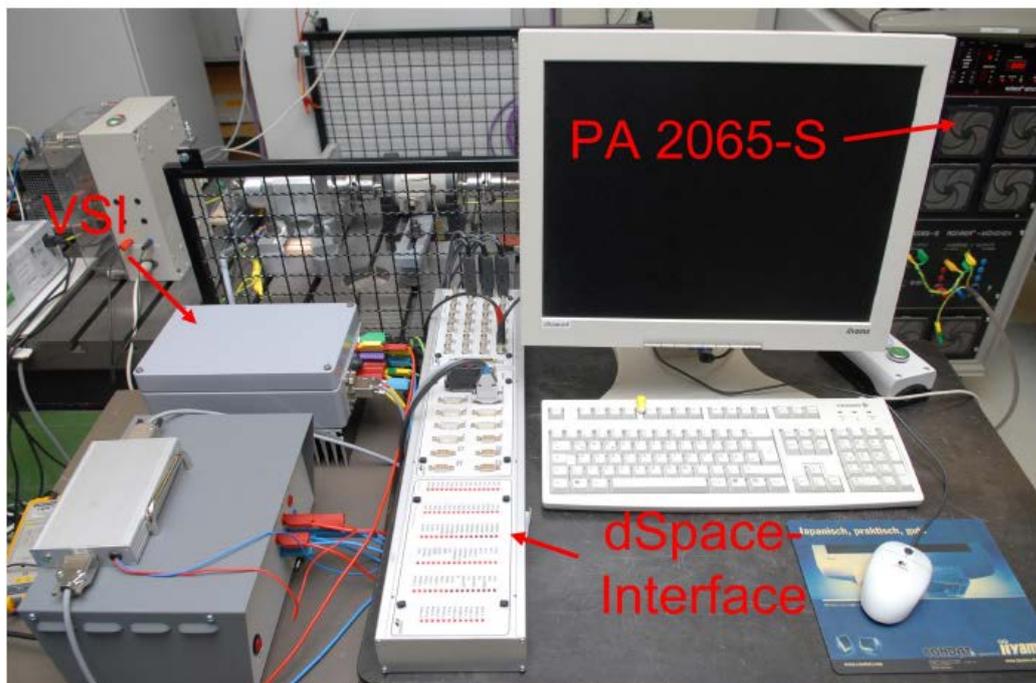
Peter Dück wird mit dem Studienpreis der SEW-Eurodrive-Stiftung für seine Diplomarbeit ausgezeichnet.

Dissertationen 2012/2013

Dissertations 2012/2013



Positionsgeberloser Betrieb von permanentmagneterregten Synchronmaschinen,
Draufsicht des Versuchsaufbaus
Self-sensing control of permanent magnet synchronous machines, top view of test setup



Frontansicht des Versuchsaufbaus
Front view of test setup

Untersuchung des modularen Direktumrichters „Hexverter“

von Dr.-Ing. Lennart Baruschka

Bei großen Leistungen und insbesondere bei hohen Spannungen stoßen konventionelle Umrichtersysteme aufgrund von Beschränkungen der Leistungshalbleiter an ihre Grenzen. Hier sind neue Konzepte erforderlich, um hohe Wirkungsgrade bei möglichst sinusförmigen Ausgangsgrößen realisieren zu können.

Eine Lösungsmöglichkeit stellt die Nutzung modularer Multilevel-Umrichtersysteme dar. Während der letzten Jahre hat sich vor allem die M²LC-Topologie in der Hochspannungsgleichstromübertragung etabliert; bei Mittelspannungsantrieben stellen die von der damaligen Firma Robicon auf den Markt gebrachten kaskadierten Umrichter (Cascaded H-Bridge Converter, CHB) mit Transformator-Speisung schon seit ca. fünfzehn Jahren eine Alternative zu herkömmlichen Systemen dar.

Beide Verfahren weisen jedoch Nachteile auf: Die CHB-Topologie benötigt sperrige Transformatoren, während die M²LC-Topologie in Back-to-Back-Anordnung eine sehr große Modulanzahl erfordert. An dieser Stelle kommt die im Rahmen dieser Arbeit untersuchte Hexverter-Topologie ins Spiel (Abb. 1), die erheblich weniger Module verwendet und ohne Transformator auskommt.

Analytische und numerische Untersuchungen führen zu Aussagen bezüglich der Anforderungen des Hexverters an die verwendeten Halbleiter. Ebenso wird der Bedarf an kapazitiven Energiespeichern in den einzelnen Modulen bei verschiedenen Betriebspunkten quantifiziert.

Bei allen bekannten modularen Multilevel-Topologien stellt die Regelbarkeit der Energieinhalte in den einzelnen Modulen eine wesentliche Herausforderung dar. Die Entwicklung von Strategien zur Regelung der Energieinhalte zeigt Grenzen für die Betriebsparameter des Hexverters auf: Sinnvoll ist seine Anwendung insbesondere für Systeme stark unterschiedlicher Frequenz wie beispielsweise zur Netzanbindung langsam drehender Windgeneratoren an das Mittelspannungsnetz.

Anhand der Anforderungen eines solchen Windgenerator-Umrichtersystems wird der Hexverter mit je einem System basierend auf der M²LC-Topologie sowie mit einem modularen Matrix-Umrichter (MMMC) verglichen. Kriterien sind der

Evaluation of the Modular Cyclo Converter “Hexverter”

by Dr.-Ing. Lennart Baruschka

Conventional converter systems are limited regarding their power and voltage ratings by the semiconductors employed. New concepts are necessary in order to realize high efficiency and sinusoidal input/output waveforms.

Modular multilevel converters are one possible solution. Especially the M²LC topology has been established for high-voltage DC transmission, while transformer-fed Cascaded H-Bridge (CHB) converters have been an alternative to conventional medium-voltage drive systems for about fifteen years already.

However, both topologies pose disadvantages: CHB converters require complex and bulky transformers, while M²LC converters need a large number of modules. Both disadvantages can be overcome by the new Hexverter topology examined in the present thesis (Fig. 1). This topology requires considerably less modules and no transformer.

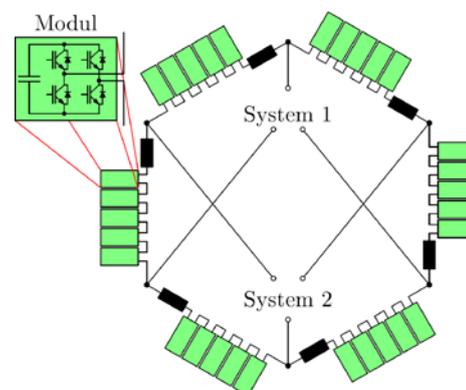


Abb. 1: Neue „Hexverter“-Topologie

Fig. 1: New „Hexverter“ topology

Conclusions regarding the Hexverter's semiconductor requirements and capacitive energy storage requirements in the single modules are attained analytically and numerically for different operating points.

Controlling the single modules' energy content is one of the key challenges of all modular converter topologies. The development of adequate control strategies leads to constraints for reasonable converter operating points: The Hexverter is especially well suited

for applications with strongly differing frequencies between both systems, like the coupling of slowly revolving wind generators to the medium-voltage grid.

Using the parameters of a hypothetical wind turbine, the Hexverter is compared to the M²LC topology and to the Modular Multilevel Matrix Converter (MMMC) topology. Criteria are the semiconductor and energy storage requirements as well as the expected efficiency.

Simulations and measurements from a laboratory system (Fig. 2) give proof of the theoretic results as well as the practical applicability of the new concept.

Halbleiter- und Energiespeicherbedarf sowie der erwartete Wirkungsgrad.

Untersuchungen in Simulationen sowie anhand eines Versuchsaufbaus (Abb. 2) belegen die theoretisch hergeleiteten Ergebnisse sowie die praktische Anwendbarkeit des neuen Konzepts.

Kontakt:

Protolar GmbH
Dr.-Ing. Lennart Baruschka
☎ +49 (0) 151 / 67 71 93 74
✉ baruschka@protolar.de



Abb. 2: Aufgebauter Versuchsstand

Fig. 2: Laboratory test setup

Modellierung des dynamischen Verhaltens permanentmagneterregter Synchronmaschinen

von Dr.-Ing. K.-H. Dempewolf

Zur Dimensionierung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen bestehen sowohl analytische als auch numerische Berechnungswerkzeuge. Aufgrund immer spezieller werdender dynamischer Anforderungen rücken transiente Betrachtungen von z. B. Betriebsprofilen oder Kurzschlussfällen stärker in den Vordergrund. FE-Analysen können derartige Forderungen erfüllen, benötigen jedoch wegen der Komplexität der Berechnungsalgorithmen sehr hohe Rechenzeiten, was gerade in der Industrie zu zeitintensiv und kostspielig ist. Alternativ kann mit deutlich geringerem Zeitbedarf ein transientes Ersatzmodell einer permanentmagneterregten Synchronmaschine verwendet werden, welches mithilfe von wenigen Differentialgleichungen die fundamentalen elektrischen und mechanischen Zusammenhänge verbindet und in der Literatur als transientes Hauptwellenmodell oder Kleinsignalmodell bezeichnet ist.

Bestandteil dieser Arbeit sind Untersuchungen, inwieweit die Simulationsergebnisse des Hauptwellenmodells mit Messungen übereinstimmen und wo die Grenzen des Modells hinsichtlich der Genauigkeit liegen. Außerdem werden drei erweiterte transiente Modelle vorgestellt, die über das Hauptwellenmodell hinaus weitere technische Effekte berücksichtigen. Dazu zählen Wirkungen durch Eisensättigung, durch Wirbelströme in elektrisch leitfähigen Rotorgebieten, durch Wicklungsinduktionsharmonische und durch Polradinduktionsoberwellen. Zur detaillierten Betrachtung werden die Differentialgleichungssysteme der Maschinenmodelle dargestellt und erläutert. Die Modelle wurden in eine Programmierumgebung implementiert, um sie zu testen und ihre Vor- und Nachteile zu analysieren. Eine Möglichkeit zur Parametrisierung jedes vorgestellten transienten Modells auf Basis von numerischen Verfahren wird erläutert, wobei die Vorgehensweise anhand von Beispielen an verschiedenen permanentmagneterregten Synchronmaschinen beschrieben wird. Den Abschluss zu dem jeweiligen Maschinenmodell bildet der Vergleich zwischen Messungen und Simulationen, um die Unterschiede hervorzuheben und zu klassifizieren. Eigens dafür wurde ein spezieller Versuchsaufbau zur Speisung von

Modeling Transient Phenomena of Permanent Magnet Synchronous Machines

by Dr.-Ing. K.-H. Dempewolf

For an electromagnetic design of permanent magnet synchronous machines, analytical as well as numerical calculation tools are available. Caused by the increasing importance of dynamic requirements, transient considerations such as operational profiles or short circuits come more and more into focus. FEM calculations can meet such demands. Due to the complexity of the calculation algorithms, they require enormous computing time, thus making them too time-consuming and costly for applications in industry. As an option, a transient model of a permanent magnet synchronous machine can be used which describes the fundamental electrical and mechanical behaviour with just a few differential equations. In literature, this is called a transient fundamental model.

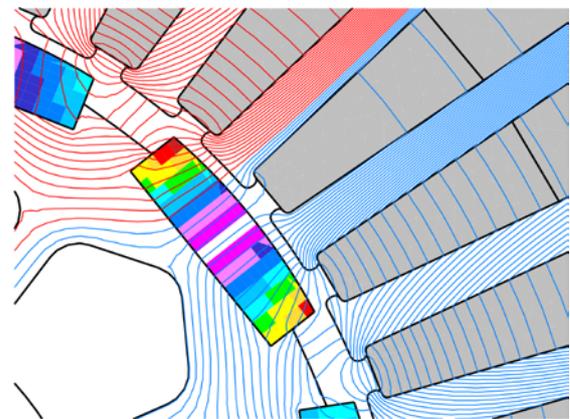


Abb.: Simulierte Wirbelstromverteilung in Permanentmagneten

Fig.: Simulated eddy current distribution in permanent magnets

This work contains studies to what extent the simulation results of the fundamental model agree with measurements and where the limits of the model can be found in terms of accuracy. In addition, three advanced transient models are presented each taking into account additional technical effects. These include effects due to saturation of the iron, eddy currents in electrically conducting parts of the rotor, spatial harmonics of the winding and spatial harmonics of the permanent magnets.

For a detailed analysis, the system of differential equations is listed and explained for each of the machine models. Their particular implementation in a programming environment was done to test the models and analyze advantages and disadvantages. The parameter identification is explained for each of the models based on numerical methods and by examples of different actually built permanent magnet synchronous machines. The measurements and simulations are finally compared for each machine model, in order to classify the differences. For this purpose, a special experimental setup for supplying test machines with sinusoidal voltages was developed, in order to isolate technical effects caused by spatial harmonics from technical effects due to the pulse pattern of frequency converters.

An assessment of the effort concerning the parameter identification and its value for the simulation results in comparison with the fundamental model is given after the chapters on machine models. An outlook to further research activities in the field of transient modeling concludes this work.

Testmaschinen mit sinusförmigen Spannungen entwickelt, damit technische Effekte aufgrund der Pulsmuster von Frequenzumrichtern von technischen Effekten aufgrund von Induktionsoberwellen getrennt werden können.

Eine Bewertung der erweiterten Modelle hinsichtlich des Aufwands zur Parameteridentifikation und Genauigkeit der Simulationsergebnisse gegenüber dem Hauptwellenmodell findet im Anschluss zu den erweiterten Maschinenmodellen statt. Ein Ausblick zu weiterführenden Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Modellierung von transientem Betriebsverhalten schließt diese Arbeit ab.

Kontakt:

Dr.-Ing. Kay-Horst Dempewolf

☎ +49 (0) 511 / 762 - 2514

✉ sekretariat@ial.uni-hannover.de

Zur Anwendung eines bandseparierenden Modulationsverfahrens mit niedrigen Taktzahlen in der Leistungselektronik

von Dr.-Ing. Niklas Rürger

Im Rahmen der Dissertation [1] wurde die Anwendung eines auf einer Entwicklung von Logan in der Nachrichtentechnik basierenden Modulationsverfahrens in einem leistungselektronischen Wechselrichter untersucht. Dieses Modulationsverfahren wird als „Zero Position Coding with Separated Baseband“ (SB-ZePoC) bezeichnet. Es hat die Eigenschaft, selbst bei niedrigen Taktzahlen einen Frequenzbereich zu generieren, in dem nur das Spektrum des Sollsignals enthalten ist. Dieser Frequenzbereich ohne unerwünschte Frequenzkomponenten erstreckt sich von größer Null Hertz bis zur halben oder sogar bis zur einfachen Schaltfrequenz (siehe Abb. 1).

Auf Basis des bereits in der Audiotechnik genutzten SB-ZePoC-Verfahrens wurde die Entwicklung für den Einsatz in der Leistungselektronik bei Wechselrichtern mit niedrigen Taktzahlen veranschaulicht und erläutert. Hierbei lagen die Herausforderungen in der Reduktion der Latenzzeit, da diese für eine Anwendung des SB-ZePoC-Verfahrens nach Logan im geregelten Betrieb in der Leistungselektronik inakzeptabel ist.

Anhand von theoretischen Betrachtungen und von Messungen wird veranschaulicht, dass das angepasste SB-ZePoC-Modulationsverfahren bei einem einphasigen Wechselrichter sowohl mit der Modulation einer Schaltflanke als auch mit der Modulation beider (fallender und steigender) Schaltflanken möglich ist. Zudem wird dargelegt, wie bei einem einphasigen Wechselrichter auch die Signalerzeugung mit dem SB-ZePoC-Verfahren zur Generierung einer dreistufigen Ausgangsspannung genutzt werden kann. Die Modulation beider Schaltflanken wird für einen dreiphasigen Wechselrichter mit und ohne Injektion der dritten Harmonischen erläutert. Ein Beispiel zur Generierung eines Schaltmusters mit modulierten Ein- und Ausschaltzeitpunkten für ein SB-ZePoC-Schaltmuster ist in Abb. 2 dargestellt. Die SB-ZePoC-Verfahren werden in der Arbeit in Relation zu Modulationsverfahren jeweils mit einem kontinuierlichen sowie mit einem diskret abgetasteten Sollwert bei Anwendung

Use of a Band Separating Modulation Strategy with Low Ratios of Switching vs. Output Frequency in Power Electronics

by Dr.-Ing. Niklas Rürger

Within the scope of this PhD thesis [1], the application of a modulation strategy in an inverter in the field of power electronics was investigated. This modulation strategy is called “Zero Position Coding with Separated Baseband” (SB-ZePoC) and was originally developed by Logan for the field of communications technology. Even with low ratios of switching frequency vs. signal frequency, the SB-ZePoC modulation strategy is able to generate a frequency range that only shows the desired signal frequencies. In this frequency range, the spectrum does not contain any unwanted frequency components, exceeding zero Hertz and reaching up to half of or even up to switching frequency (see Fig 1).

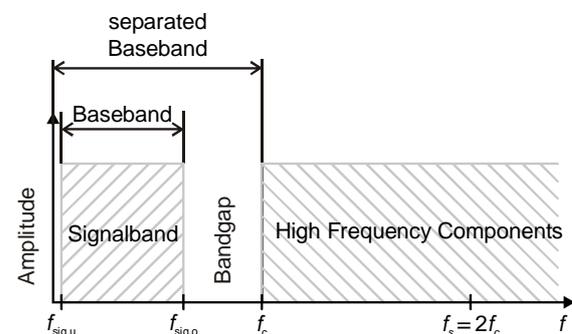


Abb.1: Bandlücke bei SB-ZePoC

Fig. 1: Bandgap of SB-ZePoC

A modulation strategy based on SB-ZePoC was further developed for its application in the field of audio technology. This thesis, however, illustrates a modulation strategy based on SB-ZePoC applied in power electronic inverters with a low ratio of switching frequency vs. signal frequency. As latency is unacceptable for the use of SB-ZePoC in close-loop control in power electronic devices, it was to be reduced.

On the basis of theoretical considerations as well as by measurements, it is shown that an adapted SB-ZePoC modulation strategy can be realized for a single-phase inverter either with just one modulated switching edge or with

both (falling and rising) switching edges being modulated. Furthermore, it is illustrated how the SB-ZePoC modulation strategy can be used to generate a three-level output voltage for a single-phase inverter. For a three-phase inverter, the modulation of both switching edges with and without injection of the third harmonic is presented. Fig. 2 shows an example of the SB-ZePoC modulation strategy to generate the pulse pattern for the turn on and off setpoints. In the thesis, all modulations are considered each in relation to modulation strategies using the pulse width modulation both with a continuing and with a discretely sampled setpoint.

The advantage of the SB-ZePoC modulation strategy is that there are no unwanted signal frequencies in the separated baseband. This advantage arises especially when using the SB-ZePoC modulation strategy for single-phase inverters. However, the advantage of a frequency range without unwanted frequency components stretching up to half of the switching frequency does only exist for three-phase inverters, provided that the SB-ZePoC modulation strategy is applied with the injection of the third harmonic.

Furthermore, the generation of switching signals by using the SB-ZePoC modulation strategy is illustrated for a machine control. Comparing the determination of losses using the SB-ZePoC modulation strategy on the one hand to a modulation strategy using the pulse width modulation with a discretely sampled setpoint on the other hand, no differences appeared between the two modulation strategies.

eines Unterschwingungsverfahrens betrachtet.

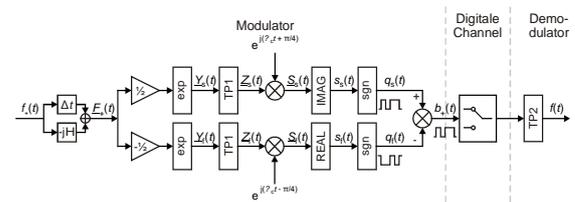


Abb. 2: Modulator zur Generierung von Ein- und Ausschaltzeitpunkt des Schaltsignals

Fig. 2: Modulator to generate the turn on and off time stamps of the switching pattern

Der Vorteil des SB-ZePoC-Verfahrens liegt darin, dass in dem Frequenzbereich keine unerwünschten Frequenzkomponenten vorhanden sind. Dieser Vorteil zeigt sich im Besonderen bei der Anwendung des Modulationsverfahrens für einphasige Wechselrichter. Der Vorteil des Frequenzbereichs ohne unerwünschte Frequenzkomponenten, der sich bis zur halben Schaltfrequenz erstreckt, existiert bei dreiphasigen Wechselrichtern nur bei der Anwendung von SB-ZePoC mit der Injektion der dritten Harmonischen.

Ergänzt wird in der Arbeit die Betrachtung durch eine Anwendung des SB-ZePoC-Verfahrens im Rahmen einer Maschinenregelung. Im Vergleich des SB-ZePoC-Verfahrens mit dem Unterschwingungsverfahren mit diskreter Abtastung des Sollwerts zeigten sich bei der Bestimmung der Verluste keine Unterschiede.

[1] Rüger, Niklas

Zur Anwendung eines bandseparierenden Modulationsverfahrens mit niedrigen Taktzahlen in der Leistungselektronik

VDI Fortschritt-Bericht, Reihe 21, Nr. 402

Kontakt:

Dr.-Ing. Niklas Rüger
✉ niklas.rueger@gmx.de

Oberwellenorientierte Wicklungsmodifikation von permanentmagneterregten Synchronmaschinen mit Zahnspulenwicklung

von Dr.-Ing. Christopher Veeh

In dieser Arbeit wird ein Verfahren zur Modifikation von Zahnspulenwicklungen von permanentmagneterregten Synchronmaschinen vorgestellt, das die gezielte Anpassung des jeweiligen Wicklungsschemas zur Erreichung einer Verbesserung der Eigenschaften der Maschine ermöglicht. Dabei wird vor allem das Geräuschverhalten betrachtet, wobei mit der vorgestellten Methode andere Effekte der Elektromaschine, wie die Verlustentstehung, ebenfalls beeinflusst werden können.

Mit Hilfe von Berechnungen der elektromagnetischen und strukturdynamischen Zusammenhänge werden die Spektralanteile der Luftspaltinduktion identifiziert, die maßgeblich zur geräuschverursachenden Radialkraftanregung beitragen. Dies geschieht mittels analytischer Berechnungen im Spektralbereich in Form von komplexen Größen auf Basis der Drehfeldtheorie.

Eine systematische Vorgehensweise der gezielten Modifikation der Windungszahl einzelner Spulen eines Strangs zur Minimierung von elektromagnetisch verursachten Geräuschen wird aufgezeigt und deren Realisierungsmöglichkeit bewertet.

Anhand von numerischen Simulationen und experimentell ermittelten Daten werden die Ergebnisse der analytischen Berechnungen bestätigt und die Auswirkung der Wicklungsmodifikation in Bezug auf die Verminderung von elektromagnetisch angeregten Schwingungen sowie der Geräuschentwicklung gezeigt.

Winding Modification of Permanent Magnet Syn- chronous Machines with Tooth-coil Winding Based on Harmonic Analysis

by Dr.-Ing. Christopher Veeh

This thesis presents a method to modify tooth-coil windings of permanent magnet synchronous machines, which permits a systematic adaption of the winding scheme in order to improve the machine characteristics. Noise excitation is mainly considered, but the procedure also allows modifying effects such as power losses or others.

By means of electromagnetic and structural dynamic calculations, it is possible to identify spectral components of the flux density in the air gap which lead to noise exciting radial forces. This is enabled through analytical calculations in the spectral range in terms of complex quantities based on the rotating field theory.

A systematic method, how to specifically modify the number of turns of single coils of a phase in order to minimize electromagnetically excited noise, and their potential implementation is shown and its realization is evaluated.

The results of the analytical calculations are confirmed by numerical simulations and experimentally measured data and the impact of winding modification in terms of minimizing electromagnetically excited noise is shown.

Kontakt:

Dr.-Ing. Christopher Veeh
☎ +49 (0) 511 / 762 - 2514

✉ sekretariat@ial.uni-hannover.de

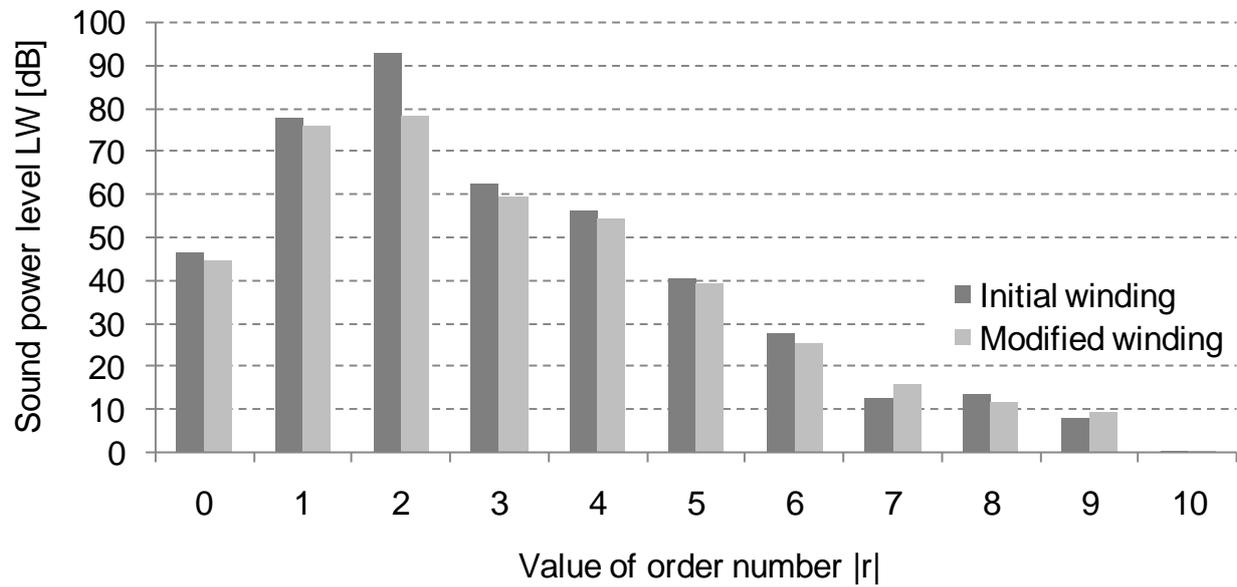


Fig: Spectrum of the sound power level of a 9-slot 8-pole machine at a phase current of $I = 10A$, number of leads of the initial winding $z_1 = 10$ and $z_2 = 20$; number of leads of the modified winding $z_1 = 10$ and $z_2 = 13$

Abb.: Spektrum des Schalleistungspegels einer 9-nutigen Maschine mit 8 Polen bei einer Strangstromstärke $I = 10A$, Leiterzahlen der Ausgangswicklung $z_1 = 10$ und $z_2 = 20$; Leiterzahl der modifizierten Wicklung $z_1 = 10$ und $z_2 = 13$

Positionsgeberloser Betrieb von permanentmagnet-erregten Synchronmaschinen

von Dr.-Ing. Karsten Wiedmann

Der Betrieb von permanentmagnet-erregten Synchronmaschinen (PMSYM) ohne die Verwendung eines mechanischen Rotorlagegebers bringt zahlreiche Vorteile mit sich. Die Wichtigsten sind die Reduzierung der Kosten und des Bauvolumens und die Steigerung der Robustheit des Gesamtsystems bzw. die Redundanz der Rotorlageerkennung.

Im höheren Drehzahlbereich können Verfahren der geberlosen Regelung, die auf der Elektromotorischen Kraft (EMK) basieren, als Stand der Technik bezeichnet werden. Da die EMK proportional von der Drehzahl abhängt, versagen EMK-basierte Verfahren jedoch im unteren Drehzahlbereich. Im unteren Drehzahlbereich inklusive Stillstand werden daher anisotropiebasierte Verfahren eingesetzt, die die magnetische Anisotropie der Maschine auswerten, was sich in der Abhängigkeit der Stranginduktivitäten von der Rotorlage äußert.

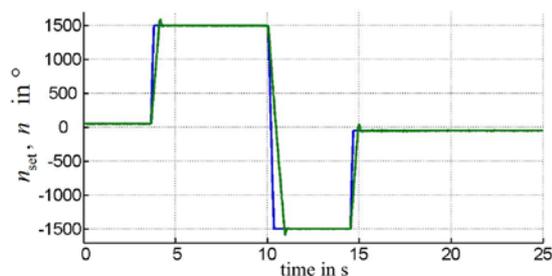


Abb. 1: Sollwert (blau) und Istwert (grün) der mech. Drehzahl, Drehrichtungsumkehr

Fig. 1: Reference (blue) and actual (green) mech. speed, reversion of rotating direction

Die anisotropiebasierte Rotorlageschätzung stellt noch immer eine große Herausforderung dar. Dies ist vor allem in stromabhängigen Sättigungseffekten (des magnetisch leitfähigen Materials) begründet, die eine Lastabhängigkeit der regelungstechnischen Güte verursachen. Die korrekte Modellierung und Berücksichtigung dieser Sättigungseffekte ist entscheidend. Ihre Abhängigkeit vom Strom kann jedoch nicht als bekannt vorausgesetzt werden, was eine geberlose Systemidentifikation während des Betriebs erfordert. Diese kann wiederum nicht als Stand der Technik bezeichnet werden, weshalb oftmals

Self-sensing Control of Permanent Magnet Synchronous Machines

by Dr.-Ing. Karsten Wiedmann

Self-sensing control of permanent magnet synchronous machines (PMSYM) without using mechanical position transducers implicates several advantages. Besides the reduction of cost and construction volume, the drive system itself becomes more robust.

In the higher speed range, self-sensing methods based on electromotive force (EMF) are state-of-the-art. But as the EMF depends linearly on the rotor speed, EMF-based approaches fail in the lower speed range, including zero speed. Here, methods are employed which are based on the magnetic saliency of PMSYM, resulting in a dependency of the stator inductances on the rotor position.

Saliency-based self-sensing control is still a challenge, as current-dependent saturation effects (of the magnetic material) have a great impact on the rotor position estimation. Thus, the self-sensing performance varies with loading conditions. The correct modeling and mitigation of saturation effects is fundamental, while its dependency on the current cannot be assumed as known. This requires a position transducerless online system identification, which so far does not represent the state-of-the-art.

This is why transducerless driven PMSYM generally require a good a priori knowledge of the system, and/or PMSYM are used whose self-sensing capability is very good – often achieved by a modification of the machine design.

The self-sensing control approach presented here includes the rotor position estimation for the entire speed range (EMF- and saliency-based), but also online identification of key effects/parameters. Besides saturation, other effects/parameters are identified, increasing the self-sensing performance significantly. In addition, the computational effort is kept low, what is mainly achieved by using one single structure as the basis of EMF- and saliency-based position estimation and system identification – an armature flux observer.

Comparing the results of this thesis with the state-of-the-art points out that the presented

approach implicates several advantages of known methods, while the computational effort is kept low.

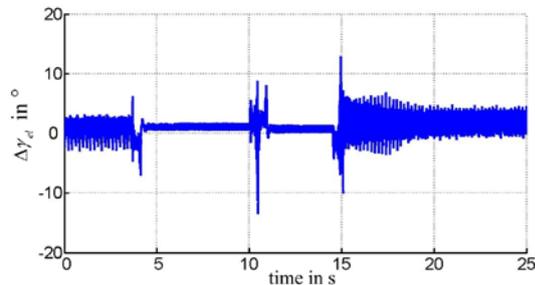


Abb. 2: Lageschätzfehler bei Drehrichtungsumkehr

Fig. 2: Position estimation error, reversion of rotating direction

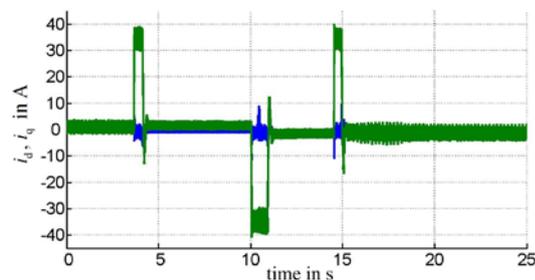


Abb. 3: Tatsächlicher d-Strom (blau) und q-Strom (grün), Drehrichtungsumkehr, Maximalstrom = 40 A

Fig. 3: Actual d-current (blue) and q-current (green), reversion of rotating direction, max. current = 40 A

für den geberlosen Betrieb im unteren Drehzahlbereich eine gute Vorabkenntnis über das Antriebssystem notwendig ist und/oder ein angepasstes Maschinendesign der PMSYM zugrunde liegt.

Das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren ermöglicht die Rotorlageschätzung für den gesamten Drehzahlbereich (EMK- und anisotropiebasiert). Gleichzeitig erfolgt eine Online-Identifikation entscheidender Systemparameter, welche durch ein initiales „Auto-commissioning“ erweitert werden kann. Neben Sättigungseffekten werden weitere sensitive Parameter bzw. Effekte des Antriebssystems ermittelt, wodurch eine signifikante Steigerung der Güte des geberlosen Betriebs erzielt werden kann. Zusätzlich zur regelungstechnischen Güte des Verfahrens steht auch die benötigte Rechenleistung im Vordergrund. Ausgangspunkt für eine geringe Rechenintensität ist, dass sowohl die EMK- und anisotropiebasierte Rotorlageschätzung als auch die Systemidentifikation auf der gleichen Struktur basieren – einem Beobachter der Ständerflussverkettung.

Durch einen Vergleich mit dem Stand der Technik wird deutlich, dass das in dieser Arbeit präsentierte Verfahren die Vorteile mehrerer bekannter Verfahren in sich vereint, die benötigte Rechenleistung jedoch minimiert wird.

Kontakt:

Dr.-Ing. Karsten Wiedmann
☎ +49 (0) 511 / 762 - 2514

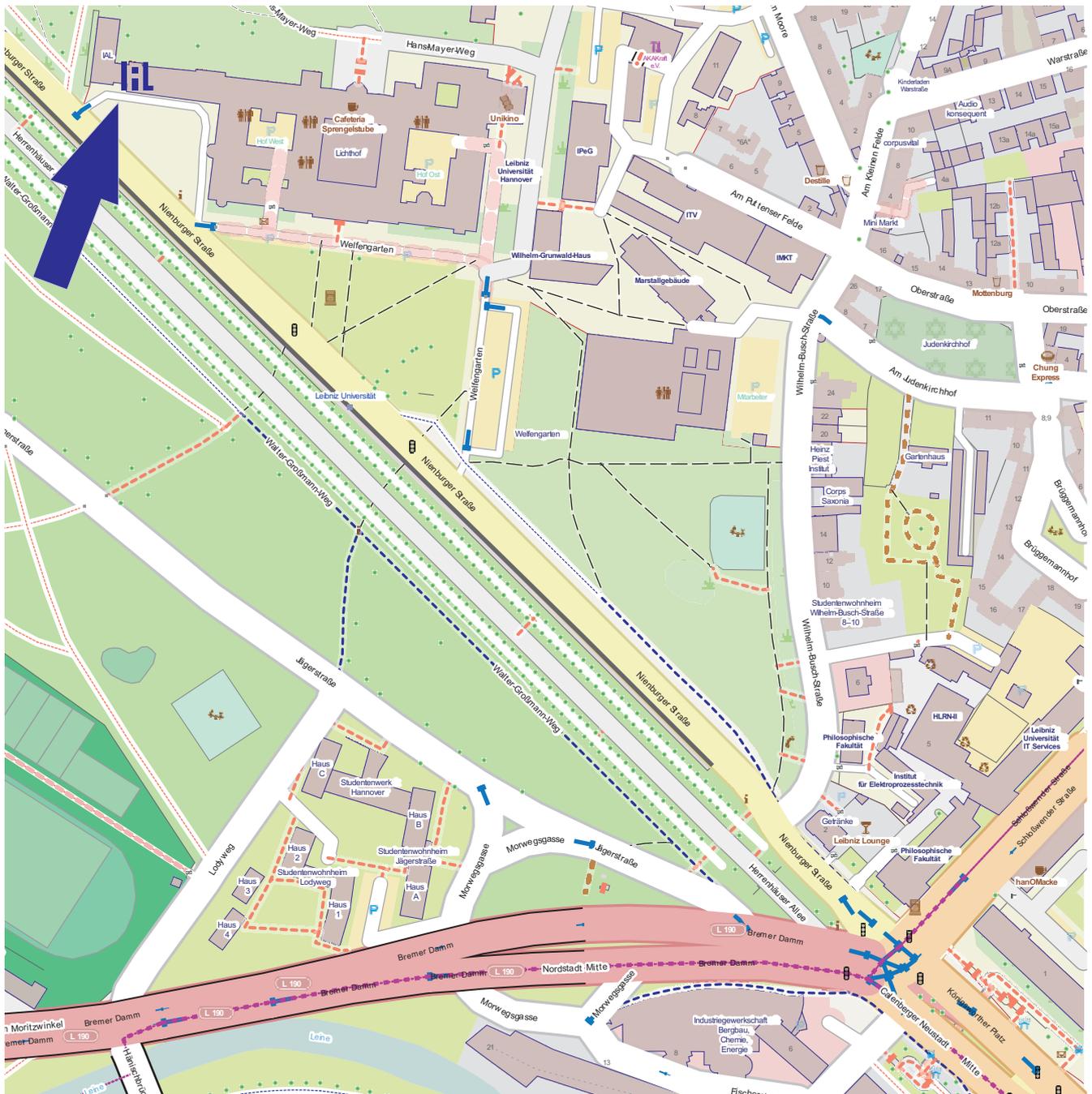
✉ sekretariat@ial.uni-hannover.de

Kontakt:

Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik
Leibniz Universität Hannover
Welfengarten 1
30167 Hannover

Postfach 6009
30060 Hannover

Telefon: 0511 / 762 - 2514
Fax: 0511 / 762 - 3040
E-Mail: info@ial.uni-hannover.de
www.ial.uni-hannover.de





Institut für
Antriebssysteme und
Leistungselektronik



Leibniz
Universität
Hannover
