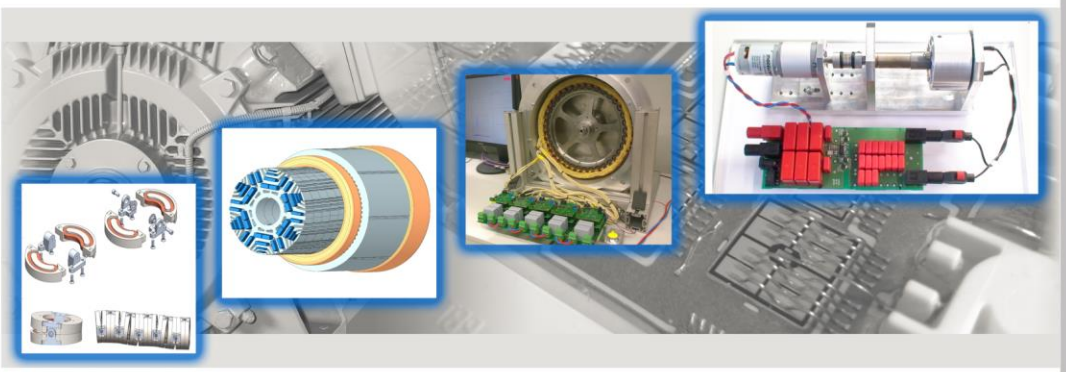
Institut für
Antriebssysteme und
Leistungselektronik

Leibniz
Universität
Hannover

Zweijahresbericht



Biennial Report

2014 / 2015

2014 / 2015

Institut für
Antriebssysteme und
Leistungselektronik

Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens

Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick

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. A. Mertens, Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Redaktion und Übersetzung:

Dipl.-Fachübers. P. Duensing

Inhaltsverzeichnis ♦ Table of Contents

Vorwort ♦ Preface 4

Forschung am IAL: Projektberichte ♦ Research at IAL: Project Reports 7

SFB 880 – Grundlagen des Hochauftriebs künftiger Verkehrsflugzeuge 8
CRC 880 – Fundamentals of Active High-Lift of Future Commercial Aircraft

Elektromagnetischer Biegeaktor für die Endoskopie 10
Electromagnetic Bending Actuator for Endoscopic Applications

Innovationscluster Leistungselektronik für regenerative Energieversorgung 12
Innovation Cluster Power Electronics for Regenerative Energy Supply

Vorausberechnung des Magnetfelds im Stirnraum 14
Analysis of the Magnetic Field in the Winding Overhang

Modulare Multilevel-Umrichter 16
Modular Multilevel Converters

Untersuchung der thermischen Eigenschaften von metalllasergesinterten Spulen für elektrische Maschinen 18
Investigating the Thermal Characteristics of Metal Laser Sintered Coils for Electrical Machines

Maschinendesign für geberlose Regelung und Verwendung additiver Fertigungsverfahren 20
Machine Design for Self-Sensing Control and Use of Additive Manufacturing Methods

Speed2E – Innovatives Super-Hochdrehzahl-Mehrgang-Konzept für den elektrifizierten automobilen Antriebsstrang 22
Speed2E – Innovative Ultra High-Speed Multistage Concept for Electrified Power Trains in Vehicles

Bezahlbare Elektrische REIchweite durch ModularitäT (BEREIT) 24
Affordable Electrical Range by Modularity (BEREIT)

Funktionale Sicherheit von permanentmagneterregten Synchronmaschinen in Elektrofahrzeugen (FuSy) 26
Functional Safety of Permanent Magnet Synchronous Machines in Electric Vehicles (FuSy)

SiC-Umrichter für Hybridfahrzeuge 28
SiC Converters for Hybrid Vehicles

Synchrone Reluktanzmaschinen als Fahrzeugantrieb 30
Synchronous Reluctance Machines Used as Vehicle Drives

Bürstenlose Erregung von Synchronmaschinen 32
Brushless Excitation System for Synchronous Machines

Simulation elektrischer Antriebssysteme für Elektro- und Hybridfahrzeuge 34
Simulation of Electrical Drive Systems for Electric and Hybrid Vehicles

Besondere Aktivitäten am IAL ♦ Special Activities at IAL 37

GeCoLab – Prüfstand für Generator-Umrichter-Systeme 38
GeCoLab Test Bench for Generator-Converter Systems

Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050) 42
Leibniz Research Centre Energy 2050 (LiFE 2050)

FEMAG – Alles neu? 44
FEMAG – All New?

HorsePower Hannover 46
HorsePower Hannover

Neuigkeiten bei der Protolar GmbH – Prototyping-Spin-Off des IAL erweitert sein Angebot 48
Novelties at Protolar GmbH – IAL's Prototyping Spin-Off Expands Product Range

Lehre am IAL ♦ Education at IAL 51

Energietechnologie 53
Energy Technology

Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung 54
Basics of Electromagnetical Power Conversion

Elektrische Antriebe 55
Electric Drives

Berechnung elektrischer Maschinen 56
Theory of Electrical Machines

Elektrische Klein-, Servo- und Fahrzeugantriebe 57
Small Electrical Motors, Servo and Vehicle Drives

Elektrische Klein- und Servoantriebe (auf Englisch) 58
Small Electrical Motors and Servo Drives (held in English)

Elektronisch betriebene Kleinmaschinen 59
Small Electronically Controlled Motors

Elektrische Antriebssysteme 60
Electrical Drive Systems

Leistungselektronik I 62
Power Electronics I

Leistungselektronik II 63
Power Electronics II

Einführung in das deutsche und europäische Energierecht 64
Introduction into German and European Energy Law

Leistungshalbleiter und Ansteuerungen 65
Power Semiconductors and Gate Drives

Regelung elektrischer Drehfeldmaschinen 66
Control of Electrical Three-phase Machines

Elektrische Bahnen und Fahrzeugantriebe 67
Electrical Traction and Vehicle Drives

Modellierung von elektromechanischen Mikrosystemen 68
Modeling of Electromechanical Micro Systems

Kolloquium „Elektrische Antriebssysteme“, „Berechnung elektrischer Maschinen“ und „Elektrische Klein-, Servo- und Fahrzeugantriebe“ 69
Colloquium on “Electrical Drive Systems“, “Theory of Electrical Machines“ and “Small Electrical Motors, Servo and Vehicle Drives“

Labor „Leistungselektronik“ 70
Laboratory Exercise on “Power Electronics“

Labor „Elektrische Maschinen“ 71
Laboratory Exercise on “Electrical Machines“

Labor „Elektrische Antriebssysteme”....72
Laboratory Exercise on “Electrical Drive Systems”

Labor „Energietechnologie” 73
Laboratory Exercise on “Energy Technology”

Studentische Arbeiten 2014/2015 74
Students’ Theses 2014/2015

Dissertationen 2014/2015 ♦ Dissertations 2014/2015....81

Verhaltensanalyse bürstenloser Gleichstrommaschinen mit axial verschiebbarem Rotor 82
Performance Analysis of Brushless DC Machines with Axially Displaceable Rotor

Kombinierte analytisch-numerische Berechnung der Magnetgeräusche elektrischer Maschinen....84
Combined Analytical-Numerical Calculation of Magnetic Noise in Electrical Machines

Beeinflussung des Geräuschs von Induktionsmaschinen durch innovative Ständer- und Läufergeometrien 86
Influencing the Sound of Induction Machines by Innovative Stator and Rotor Geometries

Synchrone Linear-Direktantriebe für Förderbänder 88
Synchronous Linear Direct Drives for Conveyors

Fault-Ride-Through-Regelung von Windenergieanlagen mit Vollumrichter und LCL-Netzfilter 90
Fault Ride-Through Control of Wind Power Plants with Full-Scale Converter and LCL Filter

Das Institut ♦ The Institute....93

Mitarbeiter des IAL 94
Staff of IAL

Chronik 2014/2015 103
Chronicle 2014/2015

Veröffentlichungen 2014/2015 112
Publications 2014/2015

Veranstaltungen 2014/2015 118
Events 2014/2015

Auszeichnungen 2014/2015....121
Awards 2014/2015

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

hinter dem IAL liegen zwei ereignisreiche Jahre.

Gemeint sind natürlich nicht nur die vielen kleinen und größeren Ereignisse, die wir ab Seite 103 in unserer kleinen Chronik für Sie aufbereitet haben. Gemeint sind auch die personellen Veränderungen: So konnten wir – über den „kontinuierlichen Verjüngungsprozess“ bei den wissenschaftlichen Mitarbeitern hinaus – unser Team im Geschäftszimmer ebenso verstärken wie unsere Werkstatt. Ferner konnte eine zweite dauerhafte aus Landesmitteln finanzierte Oberingenieurstelle für den Fachbereich Leistungselektronik eingerichtet werden. Näheres finden Sie ab Seite 94.
Vor allem möchten wir auf die zahlreichen spannenden und anspruchsvollen neuen Forschungsprojekte hinweisen, an denen wir arbeiten durften. Ab Seite 7 geben wir Ihnen in einige davon einen näheren Einblick. Erfreulich ist dabei, dass an einer wachsenden Zahl von Projekten beide Fachgebiete des IAL beteiligt sind, so dass diese Projekte von der besonders engen Zusammenarbeit zwischen Leistungselektronik und elektrischen Maschinen und deren methodischer Ausrichtung profitieren, die wir am IAL leben. Und erfreulich ist auch, dass sich Prof. Mertens nach zwei sehr beanspruchenden Jahren als Dekan der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik wieder mit ganzer Kraft dem IAL widmen kann.

Besonders erwähnenswert ist ferner, dass wir mit der Jahreswende 2015/16 unsere Prüfstandsinfrastruktur wesentlich erweitern konnten. Zum einen sind in den Räumen des Niedersächsischen Forschungszentrums Fahrzeugtechnik (NFF) zwei leistungsfähige Prüfstände für alle Arten von Fahrzeugantrieben entstanden. Die Hauptlast bei der Konzeption, Realisierung und Inbetriebnahme haben dabei dankenswerterweise die Kollegen vom Institut für elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen (IMAB) der TU Braunschweig geschultert, mit denen wir dieses „Großgerät“ gemeinsam beantragt hatten.
In den Räumen des IAL ist innerhalb einer BMBF-Fördermaßnahme im Rahmen der Hochschuloffensive eMobilität ein Prüfstand zur Durchführung von Fort- und Weiterbildungsmodulen rund um die Elektromobilität entstanden. Der Prüfstand ermöglicht außerdem die Prüfung von elektrischen Maschinen und Frequenzumrichtern für Elektrofahrzeuge.

Zum anderen ist nun endlich unser Generator-Umrichter-Großprüfstand am „Testzentrum für

Preface

Dear readers,

Let’s have a look back on two eventful years at the IAL.

Worth mentioning are not only the many small and major events, which are summarized on page 103 and the following. There have also been some staff changes: Apart from the “constant rejuvenation“ of our researchers, we could further increase our administrative as well as our technical team. In addition, we created a second publicly funded permanent senior engineer job for our power electronics division. For more details refer to page 94 ff.
In the first place, we would like to draw your attention to the large number of ambitious and fascinating research projects which we could deal with in the last two years. On page 7 and the following, we will provide an insight into some of them. Fortunately, an increasing number of projects jointly involve both divisions of the IAL. These projects can benefit from the exceptionally close collaboration between the two divisions Power Electronics and Electrical Machines and their methodological orientation practiced at IAL. In addition, we are pleased that after two demanding years as elected Dean of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Prof. Mertens is now able to give his full support to the IAL again.

The considerable enhancement of our test bench infrastructure since the turn of the year 2015/16 is also of particular importance. On the one hand, two high-capacity test benches for all types of vehicle drives were created at the Automotive Research Centre Niedersachsen (NFF). We applied for the large-scale test bench conjointly with the Institute for Electrical Machines, Traction and Drives (IMAB) of TU Braunschweig which thankfully bore the major burden in the design, implementation and start-up phase.
At the IAL, a BMBF-funded test bench was developed within the scope of the university offensive eMobility in order to support a modular training and education program for academics in the field of electromobility. The test bench is also suitable for testing electrical machines and frequency converters used in electric vehicles.

On the other hand, our large-scale generator-converter test bench at the “Test Centre for Support Structures“ in Hannover-Marien

werder is finally ready for use. We have already referred to it in the last edition of our Biennial Report. Above all IAL's senior engineers and technical staff deserve all the credit for the numerous extra tasks which they managed with great commitment during the construction and start-up phase along with their comprehensive daily activities. With this test bench, IAL's experimental resources open up a power range in the 1.2 MW range which is about ten times as large as before. Due to power electronic grid emulation, completely new research areas, such as the operation of generator or drive systems on unbalanced or harmonic-afflicted grids or temporary voltage dips, can be investigated by experiments.

In this respect, the prospects for the future are very promising, and it is most likely that the next years will be as eventful and scientifically productive as in the past. As the largest institute of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, the IAL accounts for the highest amount of third-party funds. So we definitely will proceed to make an important contribution to the faculty's success in the future.

Hannover, December 2015

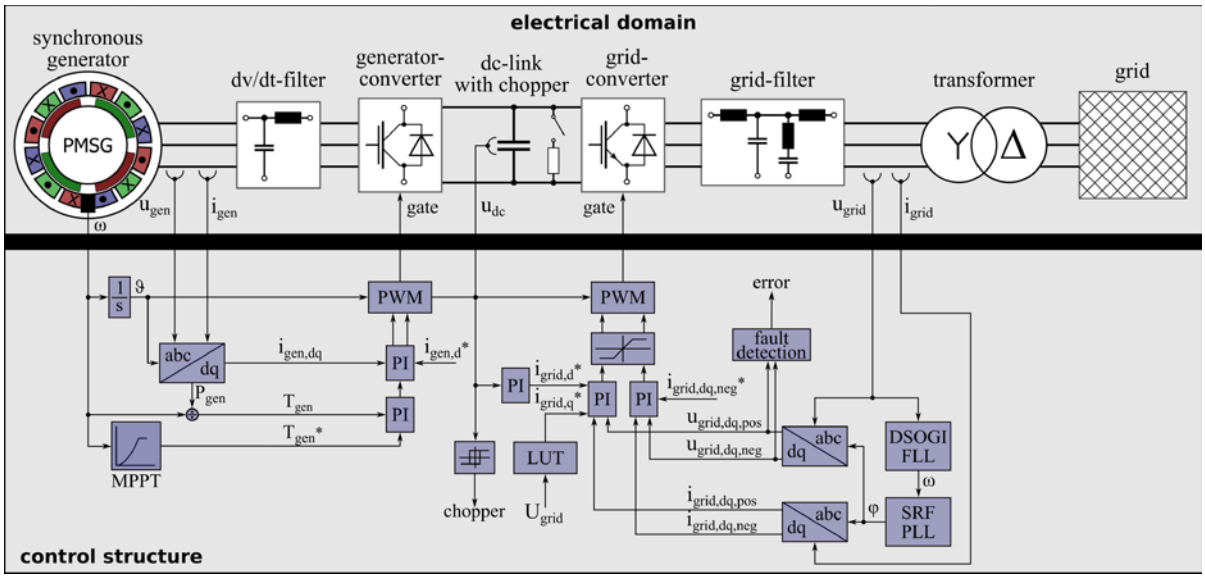
Tragstrukturen“ in Hannover-Marienwerder betriebsbereit, den wir schon in unserem letzten Zweijahresbericht kurz geschildert hatten. Vor allem unseren Oberingenieuren und der Werkstatt des IAL gebührt hohe Anerkennung, dass sie die zahlreichen zusätzlichen Aufgaben während der Bau- und Inbetriebnahmephase zusätzlich zu ihren umfangreichen „normalen“ Tätigkeiten mit viel Engagement bewältigt haben. Damit stoßen die experimentellen Möglichkeiten des IAL nicht nur in einen ganz neuen Leistungsbereich vor, der mit 1,2 MW ca. zehnmal so groß ist wie bisher. So können wir durch die leistungselektronische Netzemulation auch ganz neue Felder wie den Betrieb von Generator- oder Antriebssystemen an unsymmetrischen oder oberschwingungsbehafteten Netzen oder kurzzeitige Spannungseinbrüche experimentell untersuchen.

Es bestehen also die allerbesten Aussichten, dass auch die nächsten Jahre ereignisreich und wissenschaftlich ertragreich bleiben werden und dass das IAL als größtes und drittmittelstärkstes Institut der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik auch weiterhin einen wichtigen Beitrag zu deren Erfolg leisten kann.

Hannover, Dezember 2015

Forschung am IAL: Projektberichte

Research at IAL: Project Reports



Schematische Darstellung des elektrischen Antriebsstrangs einer Windenergieanlage mit Vollumrichter und zugehöriger Regelung

Schematic diagram of the electrical power train of a wind turbine system with a full-scale converter and its control structure

SFB 880 – Grundlagen des Hochauftriebs künftiger Verkehrsflugzeuge

von Dipl.-Ing. Jan Müller und Dipl.-Ing. Gerrit Narjes

Um trotz eines steigenden Luftverkehrsaufkommens die Belastung der Bevölkerung in Flughafennähe durch Lärm und Abgasemissionen zu begrenzen, sollten künftige Verkehrsflugzeige nicht nur leise und energieeffizient sein, sondern auch wesentlich schneller steigen bzw. sinken können. Der DFG-geförderte Sonderforschungsbereich 880 erforscht dazu u.a. neuartige Hochauftriebssysteme. Hieran beteiligt sich das IAL gemeinsam mit dem Institut für Turbomaschinen und Fluiddynamik mit einem Teilprojekt zu „Kompakten elektrischen Kompressoren“, dessen Ziel die Entwicklung eines direkt angetriebenen Verdichtersystems ist. Dieses soll innerhalb der Tragfläche nahe den Klappen Luft durch einen Kanal ansaugen, verdichten und über einen Spalt an der Klappe ausblasen, um die Auftriebseigenschaften zu verbessern (siehe Abb. 1).

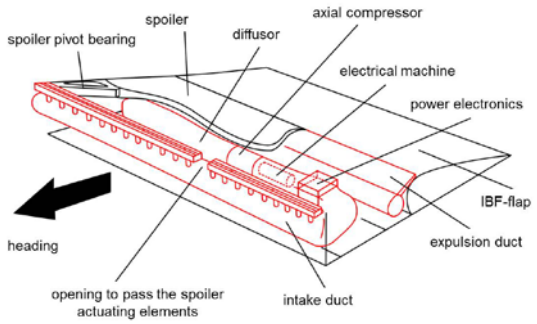


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Klappensegments inkl. Kompressorsystem

Fig. 1: Schematic of one flap segment incl. the compressor system

Um Gewicht und Komponenten zu sparen, wird auf ein Getriebe verzichtet. Die maximale Verdichterdrehzahl liegt im Bereich von 70.000 min^{-1} bei einer Leistung von ca. 80 kW. Solch hohe Drehzahlen führen aufgrund der Fliehkräfte zu einer hohen mechanischen Belastung des Rotors und erfordern eine hohe Speisefrequenz. Aufgrund ihrer prinzipbedingt hohen Drehmomentdichte sind permanentmagneterregte Synchronmaschinen mit Oberflächenmagneten vor-

CRC 880 – Fundamentals of Active High-Lift of Future Commercial Aircraft

by Dipl.-Ing. Jan Müller and Dipl.-Ing. Gerrit Narjes

To reduce, despite the increasing air traffic volume, the environmental impact of noise and exhaust gas emission in the vicinity of airports, low-noise and energy-efficient aircrafts with shorter climb and descent phase are the demands for the future. The focus of the DFG-funded Collaborative Research Centre 880 is, among others, on the development of novel high-lift systems. In cooperation with the Institute of Turbomachinery and Fluid Dynamics, the IAL is doing research work in the subproject “Compact Electrical Compressors“ with the aim to develop a directly driven compressor system. The system, which is located inside the wings close to the flaps, sucks air through an intake duct, compresses the air and expulses it through an opening at the flap in order to improve the high-lift process (see Fig. 1).

For weight and component reduction, no transmission is used. The maximum compressor speed is in the range of 70,000 rpm for a power of approx. 80 kW. Due to the centrifugal forces, such high speeds lead to high mechanical stresses of the rotor and to high supply frequency. The high torque density inherent to permanent magnet synchronous machines with surface-mounted magnets makes this type of machine very advantageous. To withstand the centrifugal forces, the magnets have to be secured with a bandage. To reduce the hysteresis and eddy-current losses caused by the high supply frequency, a number of pole pairs of 1 and electric sheets, featuring considerably low loss coefficients, are selected.

The required length of the runways also depends on the total weight of an aircraft. For this reason, no water cooling system is applied. Instead, the electrical motor as well as the power electronics is cooled by means of the compressor’s air flow (see Fig. 2).

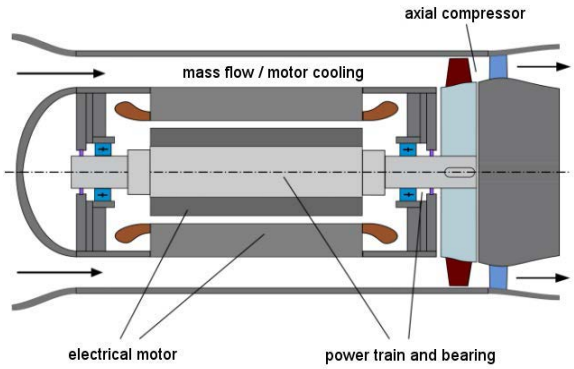


Abb. 2: Schema des Antriebsstrangs

Fig. 2: Schematic of the power train

For a compact and efficient design, the machine is dimensioned for the S2 duty type for 5 min maximum.

Due to the supply frequency of the high-speed machine, the power electronics require high switching frequencies which cannot be realized with conventional silicon semiconductors. To solve this problem, silicon carbide (SiC) semiconductors are used. SiC technology is characterized by low switching losses, reducing the overall losses especially in case of high switching frequencies. In this way, the heatsink required for the forced air cooling can be much smaller with reduced weight and volume. In addition, thermal predictions are made using FEM software to identify the optimum heatsink design. Besides the use of power modules, which are located on top of the cooling duct (see Fig. 3), a second approach uses discrete components, with the aim to integrate the components inside the air duct.

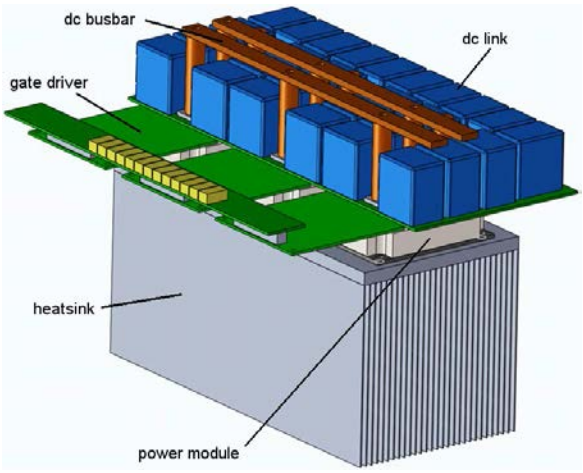


Abb. 3: Aufbau der Leistungselektronik

Fig. 3: Schematic of the power electronics

teilhaft. Zur Fliehkraftsicherung der Magnete ist eine Bandage unverzichtbar. Zur Verminderung der durch die hohe Speisefrequenz entstehenden Ummagnetisierungsverluste wird eine Polpaarzahl von 1 in Zusammenhang mit Elektroblechen gewählt, die sehr niedrige Verlustbeiwerte haben.

Die Längen von Start- und Landebahn werden auch vom Gesamtgewicht des Flugzeugs bestimmt. Aus diesem Grund wird auf eine Wasserkühlung verzichtet. Die E-Maschine sowie die Leistungselektronik werden durch den Luftstrom des Verdichters gekühlt (siehe Abb. 2).

Um möglichst kompakt und effizient zu sein, ist die Maschine für den S2-Betrieb mit einer maximalen Dauer von 5 min dimensioniert.

Für die Leistungselektronik wird aufgrund der Speisefrequenz der Hochdrehzahlmaschine eine hohe Schaltfrequenz benötigt, die mit konventionellen Silizium-Halbleiterschaltern nicht realisierbar ist. Daher werden Siliziumkarbid-Halbleiter (SiC) eingesetzt. Diese Technologie zeichnet sich durch verringerte Schaltverluste aus, was insbesondere bei hohen Schaltfrequenzen zu einer erheblichen Reduktion der Gesamtverluste führt. Dadurch ist es möglich, den Kühlkörper der forcierten Luftkühlung kleiner zu dimensionieren und somit Gewicht und Volumen einzusparen. Es erfolgen thermische Berechnungen mit FEM-Programmen, aus denen ein optimiertes Kühlkörperdesign abgeleitet wird. Neben dem Einsatz von Leistungsmodulen, die sich auf der Oberseite des Luftkanals befinden und über diesen entwärmt werden (siehe Abb. 3), wird ein zweiter Ansatz mit diskreten Bauteilen verfolgt. Das Ziel ist eine Integration der Komponenten in den Luftkanal.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Jan Müller, Dipl.-Ing. Gerrit Narjes
☎ +49 (0) 511 / 762 - 2896, +49 (0) 511 / 762 - 19440
✉ jan.mueller@ial.uni-hannover.de
✉ gerrit.narjes@ial.uni-hannover.de

Elektromagnetischer Biegeaktor für die Endoskopie

von Dipl.-Ing. Michael Dörbaum und M.Sc. Simon Weber

Ziel dieses Projekts ist ein vollaktuiertes Endoskop, das die gegensätzlichen Anforderungen beim Vorschub (hohe Flexibilität) und beim Arbeiten am Zielort (hohe Steifigkeit) erfüllt. Dazu wird in diesem DFG-Projekt zusammen mit dem Institut für mechatronische Systeme (imes) ein elektromagnetischer Biegeaktor erforscht, der dieses Problem lösen soll.

Dieser ist aus bistabilen Kippaktoren aufgebaut, die aus je vier um wenige Grad abgeflachten ferromagnetischen Halbringen bestehen, in deren Nuten Kupferspulen eingelegt sind (Abb. 1). Die Kennwerte des Prototyps sind in Tab. 1 gezeigt.

Tab. 1: Kennwerte des Prototyps von Aktor 4

Parameter		Wert	Einheit
Außendurchmesser	d_a	45	mm
Innendurchmesser	d_i	22,5	mm
Höhe Aktorhälfte	h_A	8	mm
Höhe Nut	h_S	5	mm
Masse eines Aktors	m_A	44	g
Kippwinkel	q_{max}	± 6	°
Windungszahl	w	50	
Drahtdurchmesser	d_w	0,3	mm
Masse einer Spule	m_c	4	g
Widerstand einer Spule	R_c	1,1	Ω

Durch Aneinanderreihung mehrerer Kippaktoren entsteht eine binär aktuierte Biegeaktorkette. Der im Rahmen dieses Projekts aufgebaute Prototyp im vergrößerten Maßstab mit 45 mm Außendurchmesser ist in Abb. 2 zu sehen.

Eine besondere Herausforderung für die Dimensionierung der Leistungselektronik sind die zwei unterschiedlichen Betriebszustände. Das Kippen erfolgt mit einem kurzzeitig sehr hohen Stromimpuls (max. 500 ms) bei Spitzen der Stromdichte von bis zu 500 A/mm^2. Der Stromverlauf beim Kippen ist in Abb. 3 für das siebte Aktorelement von oben in hellblau gezeigt.

Zum Halten muss der Strom dagegen auf thermisch dauerhaft zulässige Werte reduziert werden.

Electromagnetic Bending Actuator for Endoscopic Applications

by Dipl.-Ing. Michael Dörbaum and M.Sc. Simon Weber

Aim of the project is a fully actuated endoscope which is able to meet the opposing requirements during the advance (high flexibility) and during manipulation in the end position (high stiffness). Within the scope of the DFG-funded project, which is carried out in cooperation with the Institute of Mechatronic Systems (imes), an electromagnetic bending actuator is being investigated, in order to solve the aforementioned problem.

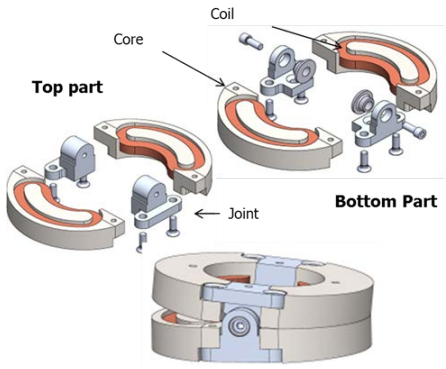


Abb. 1: Aufbau eines Aktorelements

Fig. 1: Assembly of an actuator element

The actuator is of modular design, consisting of bistable individual actuator elements which can be tilted. Each actuator element is composed of four ferromagnetic half rings with a tilting angle of some degrees and copper coils inserted in their slots (Fig. 1). The prototype's parameters are listed in Tab. 1.

Tab. 1: Parameters of prototype actuator 4

Parameters		Value	Unit
Outer diameter	d_a	45	mm
Inner diameter	d_i	22.5	mm
Height of actuator half	h_A	8	mm
Slot height	h_S	5	mm
Mass of actuator	m_A	44	g
Tilting angle	q_{max}	± 6	°
Number of turns	w	50	
Wire diameter	d_w	0.3	mm
Mass of coil	m_c	4	g
Coil resistance	R_c	1.1	Ω

A binary-actuated actuator chain is obtained by sequentially arranging a series of tiltable actuator elements. Developed within the scope of this project, Fig. 2 shows a prototype on a larger scale with 45 mm outer diameter.

The two different operating states are particularly challenging when dimensioning the power electronics. Tilting requires a sudden discharge of a very high current pulse (max. 500 ms) and current density peaks of up to 500 A/mm^2. In Fig. 3, the current (light blue) during tilting is shown for the seventh actuator element.

Abb. 2: Prototyp der Aktorkette

Fig. 2: Prototype of an actuator chain

However, for holding, a thermally allowable continuous current is required.

To avoid additional losses caused by eddy currents, a concept with two DC voltage sources has been developed (Fig. 4). The sudden current peaks required for tilting are supplied by a high capacitance of 400 mF.

The actuator chain's proper functioning has successfully been proved during testing. However, the torques, which are developed by the individual actuators, are largely different due to manufacturing tolerances and wear in the joints.

The problem shall be addressed by a second prototype featuring improved joints which is presently being developed. For a further increase in force density, the half rings, so far made of construction steel, are replaced by high-quality Vacoflux 50 cores.

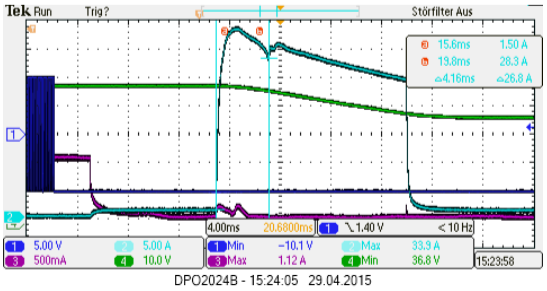


Abb. 3: Stromverlauf beim Kippen (hellblau)

Fig. 3: Current while tilting (light blue)

Um zusätzliche Verluste durch Wirbelströme zu vermeiden, wurde ein Konzept mit zwei Gleichspannungsquellen (Abb. 4) aufgebaut. Bei diesem werden die kurzzeitigen Kippströme über eine große Kapazität von 400 mF bereitgestellt.

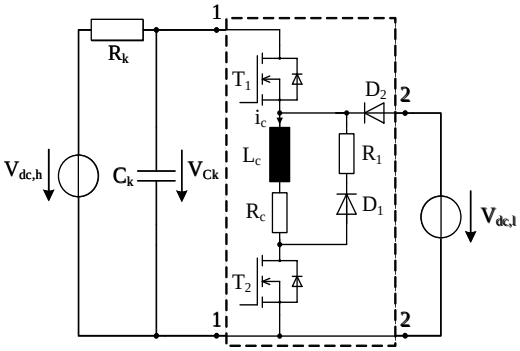


Abb. 4: Konzept mit zwei Gleichspannungsquellen

Fig. 4: Concept with two DC voltage sources

Die Funktionsfähigkeit der Aktorkette konnte erfolgreich im Testbetrieb gezeigt werden. Allerdings fiel dabei auf, dass sich die erreichbaren Momente aufgrund von Fertigungstoleranzen und Abnutzungen im Gelenk unter den Aktoren stark unterscheiden.

Um diesem Problem zu begegnen, wird zur Zeit ein zweiter Prototyp mit verbesserten Gelenken aufgebaut. Zur zusätzlichen Leistungssteigerung werden in diesem die bisher verwendeten Baustahl-Halbringe durch höherwertige Kerne aus Vacoflux 50 ersetzt.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Michael Dörbaum
☎ +49 (0) 511 / 762 - 2863
✉ michael.doerbaum@ial.uni-hannover.de

Innovationscluster Leistungselektronik für regenerative Energieversorgung

von M.Sc. Simon Weber und Dipl.-Ing. Marcel Moriße

Unter den regenerativen Energiequellen stellt die Windenergie derzeit (und absehbar in den kommenden Jahrzehnten) die mit Abstand wirtschaftlichste Form dar. Leider sind besonders im Offshore-Bereich die störungsfreien Betriebsdauern (MTBF) noch zu niedrig. Häufigste Ausfallursachen sind laut Ergebnissen des Projektes RELIAWIND (2011) das Pitchsystem und der Frequenzumrichter. Innerhalb der Frequenzumrichter fallen die Leistungsteile am häufigsten aus. Als Ursachen kommen hier vor allem Alterungsmechanismen der IGBT-Module oder Isolationsfehler in Frage. Das Innovationscluster Leistungselektronik, das vom Land Niedersachsen und der Fraunhofer-Gesellschaft gefördert wird, will zur Klärung der Ursachen beitragen und Ansätze zur Verbesserung und zur Fehlerprädiktion untersuchen. Das IAL arbeitet dabei eng mit dem Fraunhofer IWES in Hannover zusammen. Das IWES übernimmt dabei die Analyse von Felddaten sowie die Untersuchung von Isolationsfehlern.

Zustandsüberwachung und präventive Instandhaltungsstrategien

Alterung im IGBT-Modul wird hervorgerufen durch den zyklischen Verlauf der Sperrschichttemperatur im Betrieb. Bonddrahtablösung oder Lotschichtdegradation sind die bekannten Ausfallmechanismen. Um eine Zustandsüberwachung zu realisieren, ist die Kenntnis der Sperrschichttemperaturen von Bedeutung. Daher wird am IAL das Ziel verfolgt, die Sperrschichttemperatur T_j im Betrieb mit thermosensitiven elektrischen Parametern (TSEPs) zu bestimmen. Ausgewertet wird die temperaturabhängige Zeitdauer Δt des Ausschaltvorgangs mit einer analogen Messschaltung.

Die Ausschaltzeit Δt ist abhängig von dem Kollektorstrom I_C und der Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} (vergl. Abb. 1). Diese Abhängigkeiten wurden in einem Prüfstand ermittelt und mit Regressionsfunktionen angenähert (vgl. Abb. 2). Weitere TSEPs werden derzeit auf ihre Auswertbarkeit hin untersucht.

Innovation Cluster Power Electronics for Regenerative Energy Supply

by M.Sc. Simon Weber and Dipl.-Ing. Marcel Moriße

Among regenerative energy sources, wind energy is presently (and in the foreseeable future) by far the most efficient source. However, the mean time between failures (MTBF) is still too short, especially in offshore applications. According to the project results of RELIAWIND (2011), most failures are caused by the pitch system and the frequency converters. In frequency converters, the power electronic components are most prone to failure. Possible causes are above all ageing mechanisms of the IGBT modules or insulation failures. The aim of the Power Electronics Innovation Cluster, funded by the Land Lower Saxony and Fraunhofer-Gesellschaft, is to analyze the causes and develop approaches for improvement and failure prediction. The IAL is working on this topic in close cooperation with Fraunhofer IWES in Hannover. The task of IWES is to analyze field data and investigate on insulation failures.

Condition monitoring and preventive maintenance strategies

Ageing in IGBT modules is caused by the cyclic pattern of the junction temperature during operation. Bond wire damage and solder layer degradation are the familiar failure mechanisms. For condition monitoring, it is important to know the junction temperatures. In this respect, IAL is researching on how to determine the junction temperature T_j during operation based on thermo-sensitive electrical parameters (TSEPs). For this purpose, the temperature-dependent turn-off time Δt is evaluated using an analog test circuit.

The turn-off time Δt depends on the collector current I_C and the collector-emitter voltage U_{CE} (see Fig. 1). These dependencies were measured on a test bench and approximated with regression functions (see Fig. 2). Further TSEPs are presently investigated with respect to their evaluability.

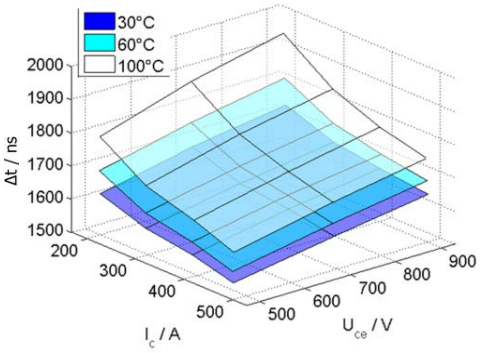


Abb. 1: Ausschaltzeit Δt in Abhängigkeit von I_C, U_{CE} und der Sperrschichtemperatur

Fig. 2: Turn-off time Δt depending on I_C, U_{CE} and the junction temperature

Power-train modelling to identify loads on frequency converters in wind turbines

To identify damage-relevant influences during operation, models for wind turbines with typical power-train topologies are developed, including different generator and converter concepts which consider the specific properties of the subsystems rotor, power train and electrical system along with the grid in an overall model.

Additionally to a detailed model of the aerodynamics and the mechanical drive train, the goal was to create models of wind turbines with full converters (synchronous machine) and partial converters (doubly fed induction machine), including a complete control mechanism for normal operation and for grid code compliant operation in case of a failure. The mechanical modelling is realized at IWES, whereas the electrical part is modelled at IAL. In future project work, the focus will be on the model's validation by measurements and on an investigation of the semiconductors' expected lifetime of the detailed models compared to simpler models.

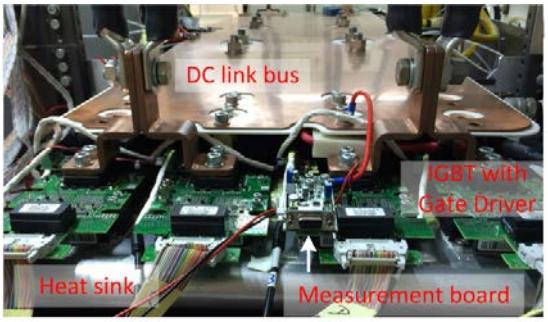


Abb. 2: IGBT-Versuchsstand mit analoger Messplatine

Fig. 2: IGBT test bench with analog measurement board

Triebstrangmodellierung zur Bestimmung von Frequenzumrichter-Belastungen in Windenergieanlagen

Zur Identifikation schädigungsrelevanter Einflüsse aus dem Betrieb werden Modelle von Windenergieanlagen mit typischen Triebstrangtopologien inklusive verschiedener Generator- und Umrichterkonzepte entwickelt, die die speziellen Eigenschaften der Subsysteme Rotor, Triebstrang sowie elektrisches System inklusive des Netzes in einem Gesamtmodell berücksichtigen.

Neben einem detaillierten Modell der Aerodynamik und des mechanischen Antriebsstrangs werden Modelle von Windenergieanlagen mit Vollumrichter (Synchronmaschine) und Teilumrichter (doppeltgespeiste Asynchronmaschine) inklusive einer vollständigen Regelung für den Normalbetrieb und den anschlussbedingungskonformen Betrieb im Netzfehlerfall entworfen. Das IWES übernimmt hier die mechanische Modellierung, das IAL die Modellierung des elektrischen Teils. Eine Validierung des Modells durch Feldmessungen sowie eine Betrachtung der Lebensdauererwartung der Halbleiter der detaillierten Modelle im Vergleich zu einfacheren Modellen folgt im weiteren Projektverlauf.

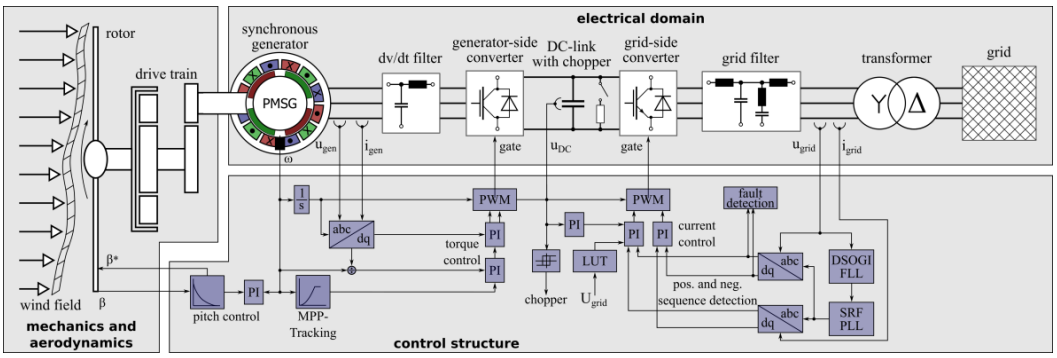


Abb. 3: Struktur des detaillierten Modells einer Windenergieanlage mit Vollumrichter und Regelung

Fig. 3: Detailed model of a wind turbine with full-scale converter and control structure

Kontakt:

M.Sc. Simon Weber
☎ +49 (0) 511 / 762 - 5224
✉ simon.weber@ial.uni-hannover.de

Vorausberechnung des Magnetfelds im Stirnraum

von M.Sc. Eva Bresemann

Die Kenntnis der Verteilung des magnetischen Felds im Stirnraum einer elektrischen Maschine wird für verschiedene Untersuchungen wie z.B. die Berechnung der Wicklungskopfkräfte oder der Schlingstromverluste benötigt. Orientierende Rechnungen haben ergeben, dass mit analytischen Verfahren errechnete Feldverteilungen im Vergleich zu numerisch ermittelten Feldverteilungen deutliche Unterschiede zeigen.

Daher wird eine genauere Untersuchung der Grenzen analytischer Berechnungsverfahren anhand unterschiedlicher Maschinengeometrien durchgeführt. Hier sind exemplarisch zwei Schenkelpolgeneratoren vorgestellt.

Die Pollänge des Generators A ist identisch mit der Statorlänge, der Pol des Generators B steht über das Statorblechpaket hinaus (siehe Abb. 1).

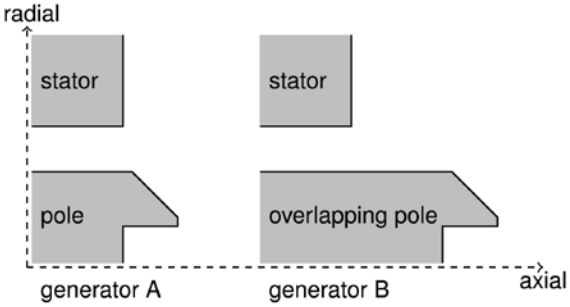


Abb. 1: Längsschnitt der Generatorvarianten

Fig. 1: Longitudinal section of generator variants

Als analytischer Standard wird die Berechnung der Feldverteilung im Wicklungskopf mittels des Biot-Savart-Gesetzes in Kombination mit der Spiegelungsmethode eingesetzt, wie sie z.B. in den institutseigenen Berechnungsprogrammen Verwendung findet (BS-Methode). Diese Methode bedient sich einiger Vereinfachungen. Hierzu gehören u.a. die Vernachlässigung des Presssystems, der Abtreppung im Endbereich sowie der Sättigung des Blechpakets. Des Weiteren gibt es keine Möglichkeit, in den Wicklungskopfbereich hineinreichende Pole und Polkanten nachzubilden.

Um den Einfluss dieser Vereinfachungen zu erkennen und um prinzipbedingte Rechenungenauigkeiten festzustellen, wurden verschiedene FEM-Modelle erstellt, von denen hier zwei zum

Analysis of the Magnetic Field in the Winding Overhang

by M.Sc. Eva Bresemann

Knowing the distribution of the magnetic field in the winding overhang of an electrical machine is required for various investigations such as end-winding force analysis or prediction of circulating current losses. Exploratory analysis has shown that field distributions determined by analytical methods differ considerably from those determined by numerical methods.

For this reason, the limits of analytical calculation methods are investigated in detail based on various machine geometries. Two salient-pole synchronous generators are taken as an example.

The pole length of generator A is identical with the stator core length, whereas the pole of generator B protrudes the stator core (see Fig. 1).

Analytical standard is to analyze the field distribution in the winding overhang applying the Biot-Savart law combined with the method of images, as it is used in the institute's calculation programs (BS method). The method is based on some simplifications. For example, the clamping structure, the descending steps in the end region as well as the saturation of the core is neglected. Beyond that, there is no further possibility to model poles and pole edges extending into the end-winding region.

To identify the influence of these simplifications as well as inaccuracies in the calculation, various FEM models were created, and two of them shall here be compared with each other. Model 1 is a full model featuring a generator end region with clamping structure, descending steps and pole edges. For better comparison, all known simplifications taken from the analytical model are implemented into model 2.

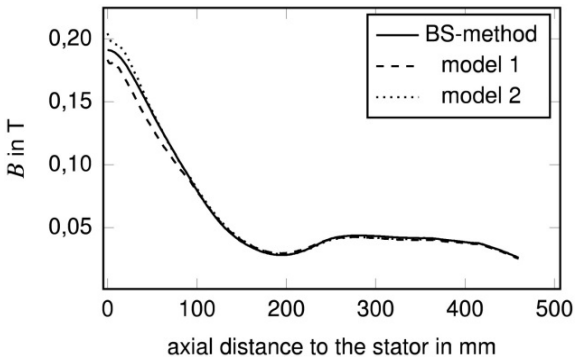


Abb. 2: Vergleich der Induktionsverläufe des Generators A

Fig. 2: Comparison of flux distributions of generator A

To compare the methods, the flux density along the bar in the upper layer is considered, reduced by the self-field of the bar. Fig. 2 shows the flux distribution for generator A. Fig. 3 depicts the flux distribution for generator B, where the pole protrudes the stator core in axial direction.

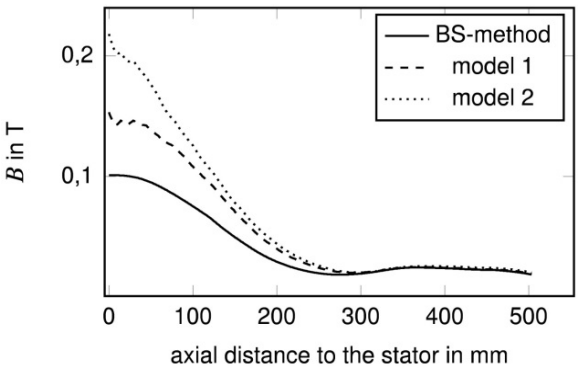


Abb. 3: Vergleich der Induktionsverläufe des Generators B

Fig. 3: Comparison of flux distributions of generator B

Using the BS method, generator A shows deviations in flux density of up to 10% compared to FEM simulation. For generator B, the BS method leads to deviations of 55%, making the results useless for further calculations.

The problem can be solved by enhancing the calculation method for generator B by using conformal mapping. The results are presented in Fig. 4. The deviation is reduced to approx. 15%.

The deviations between the simulation results derived from the FEM models 1 and 2 are largely due to the saturation effect. For this reason, further investigations will focus on a better consideration of the saturation effect as well as on the influence of the clamping structure and the pole edges on the end-winding field.

Vergleich herangezogen werden. In Modell 1 wird ein Generatorendbereich als Vollmodell mit Presssystem, Abtreppung und Polkanten aufgebaut. In Modell 2 werden zum besseren Vergleich alle bekannten Vereinfachungen aus dem analytischen Modell übernommen.

Zum Vergleich der Methoden wird die Induktion entlang eines Oberlagenstabs herangezogen, welche um das Eigenfeld des Stabs vermindert wird. Abb. 2 zeigt den Verlauf für Generator A, dessen Pol auf der Statorendblechebene abschließt. Abb. 3 zeigt den Verlauf der Induktion für Generator B, dessen Pol axial über das Statorendblech heraussteht.

Für den Generator A werden mit der BS-Methode Abweichungen der Induktion von bis zu 10% zur numerischen Simulation ermittelt. Beim Generator B zeigt die BS-Methode Abweichungen von 55%, was die Ergebnisse für weiterführende Berechnungen unbrauchbar macht.

Eine Erweiterung der Berechnungsmethode für Generator B mit Hilfe der konformen Abbildung bietet hier eine Lösung. Die Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt. Die Abweichung wird auf ca.15% reduziert.

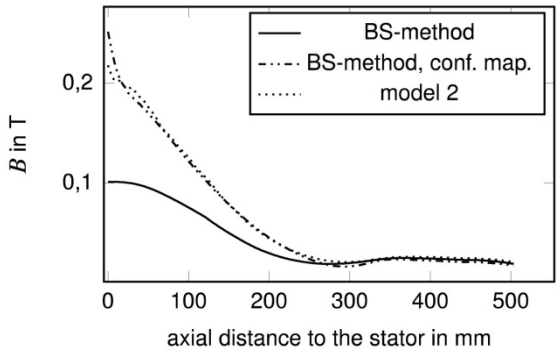


Abb. 4: Vergleich der Induktionsverläufe des Generators B mit der Erweiterung der konformen Abbildung

Fig. 4: Comparison of flux distributions of generator B enhanced with conformal mapping

Der Sättigungseffekt hat einen hohen Anteil an den Abweichungen zwischen den Simulationsergebnissen aus den FEM-Modellen 1 und 2. Daher konzentrieren sich weiterführende Untersuchungen auf eine bessere Berücksichtigung des Sättigungseinflusses sowie des Einflusses von Presssystem und Polkanten auf das Wicklungskopffeld.

Kontakt:

M.Sc. Eva Bresemann
☎ +49 (0) 511 / 762 - 3766
✉ eva.bresemann@ial.uni-hannover.de

Modulare Multilevel-Umrichter

von Ing. Jakub Kučka

Modulare Multilevel-Topologien wie der Modular Multilevel Converter (M^2LC), der Modular Multilevel Matrix Converter (MMMC) und der Hexverter stehen seit mehreren Jahren im Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen (Abb. 1 bis 3). Vorteile wie niedrige Stromverzerrung, mögliche Redundanz und leichte Skalierbarkeit auf höhere Spannungen sorgen für eine ungebrochene Zunahme ihrer Popularität.

In der Vergangenheit wurden zahlreiche Ansätze verfolgt, um ein optimales Regelungsverfahren für die verschiedenen Topologien zu entwickeln. Bei den meisten Ansätzen handelt es sich jedoch um Ad-hoc-Lösungen, die jeweils nur auf eine Topologie anwendbar sind. Eines der Forschungsziele des zur Zeit am IAL bearbeiteten und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts „Mehrphasige modulare Multilevel-Direktumrichter mit reduzierter Zweiganzahl – ein systematischer Ansatz für eine Klasse von modularen Multilevel-Umrichtern" ist die Entwicklung eines generalisierten Regelungsverfahrens, das auf alle Topologien sowie deren Varianten anwendbar ist. Die generalisierte Regelungstheorie basiert auf der Systembeschreibung der Stromregelung im Zustandsraum und einem universellen zur Regelung der Zweigenergie entwickelten Verfahren. Dieser Ansatz wurde für den Hexverter bereits auf der ECCE'14 und für den MMMC auf der ECCE'15 vorgestellt.

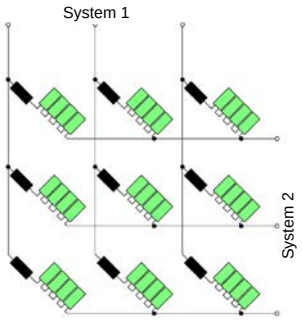


Abb. 2: MMMC Fig. 2: MMMC

Modulare Multilevel-Topologien wurden bereits in vielen Hochleistungsanwendungen im Mittel- und Hochspannungsbereich, z.B. in Antrieben für Mahlanlagen und Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungssystemen, eingesetzt. Als eine mögliche Anwendung werden z. Zt. am IAL Mittelspannungs-Windenergieanlagen untersucht.

Modular Multilevel Converters

by Ing. Jakub Kučka

Modular multilevel topologies, such as the Modular Multilevel Converter (M^2LC), the Modular Multilevel Matrix Converter (MMMC), and the Hexverter, have been in the focus of scientific research for several years (Fig. 1 to 3). Regarding the advantages, e.g. low current distortion, possible redundancy and a simple scalability to a higher voltage, the popularity of modular multilevel converter topologies is still increasing.

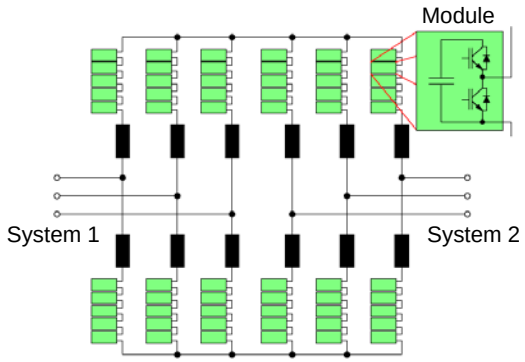


Abb. 1: M^2LC in Back-to-Back-Anordnung

Fig. 1: M^2LC in back-to-back configuration

Since the beginning, many efforts have been made to find an optimal control scheme for the different topologies. However, these are mostly ad-hoc solutions, applicable to only one topology at a time. One of the goals of research currently done at IAL within the project "Multiphase Direct Modular Multilevel Converters with Reduced Number of Branches - A Systematic Approach for a Modular Multilevel Converter Topology", funded by the DFG (German Research Foundation), is to find a generalised control scheme, applicable to all topologies and their reduced variants. The generalised control theory is based on the state-space system description for current control and a developed versatile branch energy control mechanism. The fundamental approach has already been presented for the Hexverter at the ECCE'14 and for the MMMC at the ECCE'15.

Modular multilevel topologies have already been proposed for many high-power, medium- to high-voltage applications, e.g. milling drives and HV DC transmission systems. Medium-

voltage wind turbines are one of the possible applications currently examined at IAL. In the joint project INWIND.EU, IAL examines together with Aalborg University in Denmark and University of Strathclyde in United Kingdom different converter solutions for future medium-voltage 10 MW and 20 MW wind generators. IAL has compared MMMC and Hexverter for this application. The MMMC requires less capacitance and lower rated semiconductor devices. However, the Hexverter needs fewer modules. For the design scenario given in the project, the MMMC would be the more cost-effective solution.

One of the reasons to propose modular multilevel topologies for offshore wind energy power plants is their high reliability. It can simply be improved by connecting several redundant modules in series to the rest. When some modules fail, the module output will be short-circuited, and the converter can continue operation.

Examining whether it is possible to operate the converter after a module failure, even if there are no redundant modules available, was one task of the project “Fraunhofer Innovation Cluster: Power Electronics for Renewable Energy Supply”. In this part of the project, an innovative concept of redundant and reliable converters for large wind turbines was proposed. For this kind of operation of the above-mentioned modular multilevel topologies, we have presented two novel approaches at the EPE’15 conference and examined the maximum power transferable by the partly failed converters. In Fig. 4, the reduced operating areas are shown for each topology in the case of exactly one failed module in a converter (example converters rated at 6.6 kV and 10 MW).

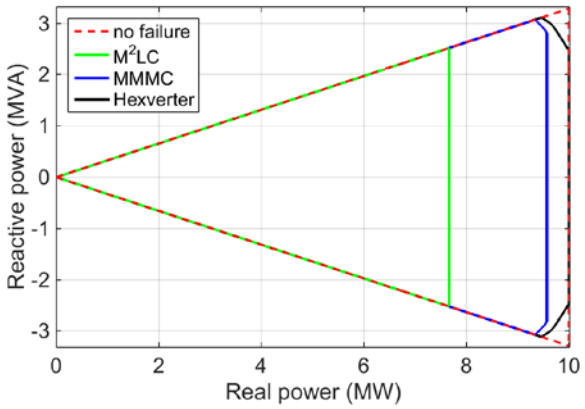


Abb. 4: Verbleibende Betriebsbereiche bei Totalausfall eines Moduls (für den „asymmetrischen Ansatz")

Fig. 4: Remaining operating area, when one module failed in total (using an "asymmetric approach")

Innerhalb des Projekts INWIND.EU erforscht das IAL zusammen mit der Universität Aalborg, Dänemark, und der Universität Strathclyde, Großbritannien, verschiedene Umrichterlösungen für künftige 10- und 20-MW-Windgeneratoren im Mittelspannungsbereich. Hierzu wurde am IAL ein Vergleich von MMMC und Hexverter durchgeführt. Der MMMC erfordert eine geringere Kapazitätsmenge und Halbleiterbauelemente mit niedrigerer Bemessungsleistung. Der Hexverter kommt hingegen mit weniger Modulen aus. Für das im Projekt gegebene Entwurfs-Szenario erwies sich der MMMC als die kostengünstigere Lösung.

Ein Grund für den Einsatz modularer Multilevel-Topologien in Offshore-Windenergieanlagen ist ihre hohe Zuverlässigkeit. Diese lässt sich leicht durch die Reihenschaltung mehrerer redundanter Module weiter erhöhen. Bei einem Modulausfall wird der Modulausgang kurzgeschlossen, ohne den Umrichterbetrieb zu unterbrechen.

Eine Aufgabenstellung innerhalb des Projekts „Fraunhofer Innovationscluster: Leistungselektronik für regenerative Energieversorgung” war es, zu untersuchen, ob ein Umrichter nach einem Modulausfall selbst bei fehlender Redundanz weiterarbeiten kann. In diesem Projektteil wurde ein innovatives Redundanzkonzept sowie zuverlässige Umrichter für große Windenergieanlagen entwickelt. Auf der EPE’15 wurden hierzu zwei neuartige Lösungsansätze vorgestellt und die maximal übertragbare Leistung der teilweise ausgefallenen Umrichter untersucht. In Abb. 4 sind die verbleibenden Betriebsbereiche für die einzelnen Topologien für den Fall dargestellt, dass genau ein Umrichtermodul ausfällt (Beispielumrichter bemessen für 6.6 kV und 10 MW).

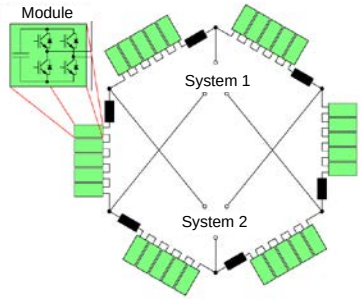


Abb. 3: Hexverter Fig. 3: Hexverter

Kontakt:

Ing. Jakub Kučka
☎ +49 (0) 511 / 762 - 19481
✉ jakub.kucka@ial.uni-hannover.de

Untersuchung der thermischen Eigenschaften von metalllasergesinterten Spulen für elektrische Maschinen

von M.Sc. Constantin Wohlers

Infolge der steigenden Anforderungen an die Leistungsdichte und die Überlastbarkeit elektrischer Maschinen werden innovative Ansätze gesucht. Dabei ist bekanntlich die maximal zulässige Wicklungstemperatur und damit die Erwärmung der Maschine die begrenzende Größe zur Steigerung des Drehmoments bei gleichbleibendem Bauraum und Gewicht.

Ein neuer Ansatz sieht den Einsatz von direkten Flüssigkeitskühlungen der Zahnspulenwicklung von permanenterregten Synchronmotoren vor. Im Gegensatz zur gängigen Methode der Wassermantelkühlung wird die Kühlleistung gesteigert, da das Kühlmedium im direkten Kontakt mit der Wärmequelle steht. Typischerweise sind mit Wassermantelkühlungen im stationären Betrieb Stromdichten von 12 bis 15 A/mm^2 erreichbar.

Bei Maschinen im hohen Mega- bis Gigawattbereich werden zur direkten Flüssigkeitskühlung der Ständerwicklung Hohlleiter eingesetzt, durch die entionisiertes Wasser geführt wird. Die Hohlleiter waren bisher aufgrund der großen Leiterabmessungen und der hohen Kosten nur für Großmaschinen realisierbar. Neuartige generative Fertigungsverfahren bieten nicht nur die Möglichkeit, Hohlleiter für elektrische Maschinen vergleichsweise kleiner Abmessungen zu fertigen, sondern auch die Geometrie der Spule anzupassen, um sowohl die zusätzlichen Verluste zu verringern als auch die abführbare Verlustleistung zu steigern.

Bei Zahnspulen ist der Einfluss der zusätzlichen Verluste wegen der vergleichsweise großen Leiterabmessungen, verursacht durch Wirbelströme, nicht zu vernachlässigen.

Diese Problematik führt dazu, dass am IAL eine Spulengeometrie für generative Fertigungsverfahren entwickelt wird, die sowohl eine Homogenisierung der Stromdichteverteilungen innerhalb der einzelnen Leiter der Spule als auch eine Steigerung der abführbaren Kühlleistung ermöglichen soll. Zusätzlich wird die Geometrie des luftspaltnahen Leiters so angepasst, dass die aufgrund von Stromverdrängungseffekten typischerweise höheren Verluste im Vergleich zu den darüber liegenden Leitern reduziert werden.

Investigating the Thermal Characteristics of Metal Laser Sintered Coils for Electrical Machines

by M.Sc. Constantin Wohlers

Innovative approaches are needed to meet the increasing demand on power density and overload capacity of electrical machines. As is generally known, the maximum allowable winding temperature, and hence the temperature rise in the machine, is the limiting factor for increase of torque, assuming constant installation space and weight.

A novel approach uses direct liquid cooling of tooth-coil windings in permanent magnet synchronous machines. In contrast to conventional water jacket cooling, the cooling capacity is increased due to the direct contact of the coolant with the heat source. Normally, water jacket cooling allows current densities of 12 to 15 A/mm^2 during steady-state operation.

In machines operating in the multi-megawatt or gigawatt range, hollow conductors carrying de-ionized water are used for direct liquid cooling of the stator winding. Due to large conductor dimensions and high cost, hollow conductors have so far only been realized in large machines. Thanks to innovative additive manufacturing methods, it is possible to manufacture small-sized hollow conductors for use in electrical machines. Moreover, the coil geometry can be adapted to reduce additional losses and increase the power losses that can be dissipated.

Regarding tooth coils, the influence of additional losses caused by eddy currents should not be neglected due to the comparatively large conductor dimensions.

To meet this challenge, IAL is presently developing a coil geometry for additive manufacturing methods to homogenize the distribution of the current density within the individual hollow conductors of the coil as well as to increase the power losses that can be dissipated. In addition, the geometry of the conductor close to the air gap is adapted, so that the losses due to current displacement, which are typically higher than those of the conductors located above, will be reduced.

With the newly developed coil geometry, simu-

lations and thermal predictions yield a reduction of the local extrema of the current density (hot-spots) by 50% compared to purely rectangular conductors. In addition, current densities of more than 130 A/mm^2 would be possible when selecting copper conductors, without exceeding a coil temperature of 200 °C.

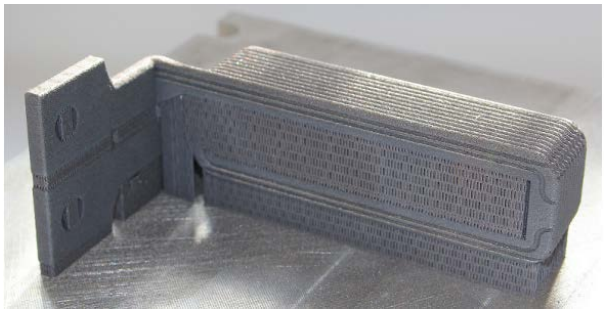


Abb. 2: Spule mit Stützstrukturen im 3D-Drucker
Fig. 2: Coil with support structures in 3D printer

For testing purposes, the developed coil was made of aluminium alloy *AlSi10Mg*. As manufacturing method, aluminium laser sintering was chosen, which is a 3D printing technology.

The specimen, consisting of the manufactured coil in a sealed temperature-resistant housing, was DC tested with regard to its thermal properties. On the one hand, the measurements could validate the predictions. On the other hand, they showed potential improvements with respect to the manufacturing method and the adaption of the coil geometry. With a flow rate of 5 l/min of the coolant, a de-ionized water/glycol mixture, medium current densities of 50 A/mm^2 could be achieved in the aluminium coil at a medium coil temperature of 90 °C. Equivalent losses would be reached for copper coils at a current density of 90 A/mm^2.

Simulationen und thermische Vorausberechnungen ergeben, dass mit der entwickelten Spulengeometrie die lokalen Extremwerte der Stromdichte (Hotspots) im Vergleich zu reinen Rechteckleitern halbiert werden. Außerdem wären bei einer Fertigung aus Kupfer mittlere Stromdichten von über 130 A/mm^2 möglich, ohne eine Spulentemperatur von 200 °C zu überschreiten.

Abb. 1: Gesinterte Spule nach der Nachbearbeitung
Fig. 1: Sintered coil after finishing

Die entwickelte Spule wurde zu Versuchszwecken aus der Aluminiumlegierung *AlSi10Mg* gefertigt. Bei dem gewählten Fertigungsverfahren handelt es sich um das Aluminium-Laser-Sintern, ein 3D-Druck-Verfahren.

Ein Prüfling, bestehend aus der Spule in einem dichten und temperaturfesten Gehäuse, wurde in einem Gleichstromversuch hinsichtlich der thermischen Eigenschaften untersucht. Die Messungen bestätigen einerseits die Vorausberechnungen und zeigen andererseits mögliche Verbesserungspotenziale des Fertigungsverfahrens und der geometrischen Anpassung der Spule auf. Für die Durchflussmenge des Kühlmediums, mit Glykol versetztes entionisiertes Wasser, von 5 l/min konnten mittlere Stromdichten von 50 A/mm^2 bei einer mittleren Spulentemperatur von 90 °C erreicht werden. Äquivalente Verluste würden bei einer Kupferspule bei einer Stromdichte von 90 A/mm^2 auftreten.

Kontakt:

M.Sc. Constantin Wohlers
☎ +49 (0) 511 / 762 - 3764
✉ constantin.wohlers@ial.uni-hannover.de

Maschinendesign für geberlose Regelung und Verwendung additiver Fertigungsverfahren

von Dipl.-Ing. Francesco Quattrone

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der elektromagnetischen Gestaltungsmöglichkeiten permanenterregter Synchronmaschinen (PMSM), die für den geberlosen Betrieb im unteren Drehzahlbereich und im Stillstand geeignet sind. Im Fokus stehen dabei Fahrzeug- und Servoantriebe. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in Form einfacher Designregeln formuliert und in ein Entwicklungswerkzeug überführt. Die Forschungsarbeiten werden im Rahmen des vom BMWi finanzierten Projekts *ATEM-Geberlos* durchgeführt.

Die trägersignalbasierte Rotorlageschätzung erfordert eine ausgeprägte magnetische Anisotropie ($L_d \neq L_q$) im gesamten Lastbereich, um die Stabilität der geberlosen Regelung sicherzustellen. Insbesondere lastabhängige Sättigungseffekte und Wicklungsoberfelder können den realisierbaren Drehmomentbereich im Vergleich zum Betrieb mit mechanischen Lagegebersystemen deutlich einschränken.

Die physikalischen Zusammenhänge zwischen dem Maschinendesign und der resultierenden Charakteristik der Anisotropie sind allein durch analytische Ersatznetzwerke nicht hinreichend genau darstellbar. In diesem Projekt wird daher ein kombinierter Ansatz gewählt, der spezielle Identifikationsmethoden auf Basis der Finite-Elemente-Methode nutzt.

Rotoren mit vergrabenen Magneten weisen im Leerlauf und im Teillastbetrieb eine höhere magnetische Anisotropie auf als Anordnungen mit Oberflächenmagneten. Allerdings sinkt die Anisotropie bei steigender Sättigung signifikant, was bei hohen Lasten zu unzulässig hohen Schätzfehlern führt. Insbesondere Antriebe mit sehr hohen Drehmomentdichten sind hiervon betroffen. In Servoantrieben mit kleiner Leistung sind oberflächenmontierte Magnete die einzige umsetzbare Option. Aufgrund der insgesamt geringen Anisotropie sind folglich auch die Möglichkeiten der geberlosen Regelung begrenzt.

Diesen Problemen kann in vielen Fällen durch eine mäanderförmig in die Pollücken eingelegte kurzgeschlossene Spule begegnet werden (Abb. 1). Die dämpfende Wirkung der Spule in der magnetischen Längsachse erhöht die HF-

Machine Design for Self-Sensing Control and Use of Additive Manufacturing Methods

by Dipl.-Ing. Francesco Quattrone

Within the scope of the BMWi-funded project *ATEM-Geberlos* (ATEM Sensorless), research is done on possible electromagnetic design approaches suitable for use in sensorlessly controlled permanent magnet synchronous machines (PMSM) operating at low speeds and at standstill. The focus is especially on vehicle and servo drives. The research results are converted into simple design rules and serve for the creation of a development tool.

Rotor position estimation based on carrier signals requires high magnetic saliencies ($L_d \neq L_q$) over the whole load range, in order to provide for a stable sensorless control. Especially load-dependent saturation effects and spatial harmonics of the winding field may reduce the achievable operating range to a considerable extent, compared to conventional position sensor systems.

The physical relations between machine design and resulting saliency characteristics cannot be modelled with sufficient accuracy by analytical equivalent circuits alone. For this reason, a combined approach has been chosen in this project, utilizing specific identification methods based on the Finite Element Method.

At no load and partial load, rotors with buried magnets exhibit higher magnetic saliencies than arrangements with surface-mounted magnets. However, saliencies significantly decrease with increasing saturation, leading to excessively high estimation errors in case of high loads. This is especially valid for drives with very high torque densities. In low-power servo drives, surface-mounted magnets are the only feasible option. Due to the overall low saliencies, the possibilities for a sensorless control are therefore limited, too.

In many cases, these problems can be solved by inserting a meandering short-circuited coil into the pole gaps (Fig. 1). The coil's damping effect in the magnetic direct axis increases the HF saliency and thus enhances the stable load range. This has already been proved on the prototypes under test at IAL.

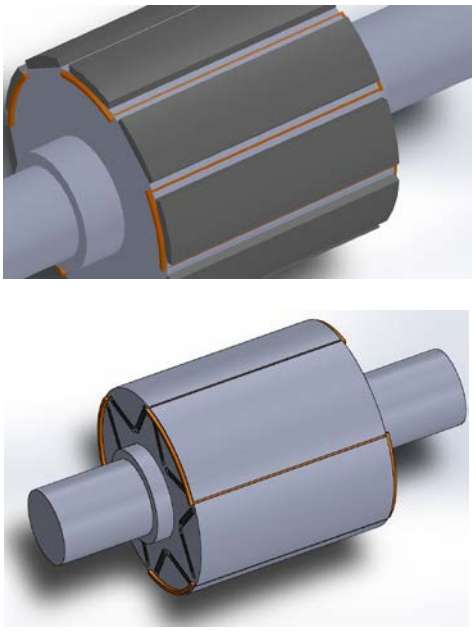


Abb. 1: Mäanderförmige Kupferspule in den Pollücken einer PMSM mit Oberflächenmagneten (oben) und vergrabenen Permanentmagneten (unten)

Fig. 1: Meandering copper coil in pole gaps of a PMSM with surface-mounted magnets (top) and buried magnets (bottom)

A novel approach for the manufacturing of electrical machines is being explored within the FVA-funded research project *Feasibility Study for 3D Printing of Electric Motors* (FVA 731I). In cooperation with the Direct Manufacturing Research Center (DMRC), Paderborn, and the Institute for Applied Materials (IAM) at Karlsruhe Institute of Technology (KIT), it is investigated in how far additive manufacturing of rotors in permanent magnet synchronous machines is possible. The magnetic and electrical properties of additively manufactured test specimens based on available magnetic powder materials are analyzed and evaluated. In the next step, two rotors are additively manufactured (Fig. 2). Finally, the resulting machine behaviour is validated by measurements.

The technical capabilities of this method are very versatile, offering great design potentials for the manufacturing of electrical machines. Extra degrees of freedom in design can for example be used in favour of novel integrated self-cooling concepts or integrated frame assemblies. From the magnetic point of view, latticed leakage paths are able to increase the torque densities of machines with buried magnets. In addition, higher magnetic saliencies with modified load dependency favouring sensorless control can be achieved.

Anisotropie und ermöglicht so eine Erweiterung des stabilen Lastbereichs. Dies konnte am IAL an Prototypen im realen Betrieb bereits bestätigt werden.

Ein neuartiger Lösungsansatz zur Fertigung von elektrischen Maschinen wird zur Zeit im Rahmen des FVA-Projekts *Machbarkeitsstudie für 3D-Druck von Elektromotoren* (FVA 731I) untersucht. In Zusammenarbeit mit dem Direct Manufacturing Research Center (DMRC) in Paderborn und dem Institut für Angewandte Materialien (IAM) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) werden die Möglichkeiten zur additiven Fertigung von Rotoren permanenterregter Synchronmaschinen erforscht. Es werden die magnetischen und elektrischen Eigenschaften von additiv gefertigten Probekörpern aus verfügbaren magnetischen Pulvermaterialien analysiert und bewertet. Im nächsten Schritt werden zwei Rotoren additiv gefertigt (Abb. 2), und das resultierende Maschinenverhalten wird messtechnisch erprobt.

Die technischen Möglichkeiten dieses Verfahrens sind sehr vielfältig und eröffnen ein großes Gestaltungspotential im Bereich des Elektromaschinenbaus. Die zusätzlichen konstruktiven Freiheitsgrade können z. B. für neuartige integrierte Kühlkonzepte mit Selbstbelüftung oder integrierte Gehäusekonstruktionen genutzt werden. Aus magnetischer Sicht könnten durch gitterförmig gestaltete Streuwege die Drehmomentdichten von Maschinen mit vergrabenen Magneten erhöht werden. Außerdem sind größere magnetische Anisotropien mit veränderter Lastabhängigkeit zugunsten geberloser Regelungsverfahren denkbar.

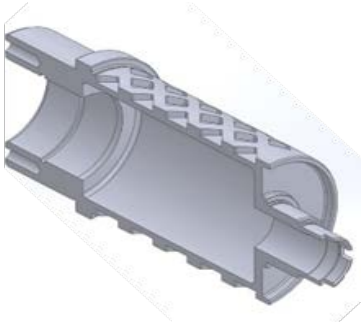


Abb. 2: Konstruktionszeichnung einer additiv gefertigten Motorwelle (Quelle: Wittenstein)

Fig. 2: Design drawing of an additively manufactured motor shaft (source: Wittenstein)

Kontakt:

Dipl.-Ing. Francesco Quattrone
☎ +49 (0) 511 / 762 - 5346
✉ francesco.quattrone@ial.uni-hannover.de

Speed2E – Innovatives Super-Hochdrehzahl-Mehrgang-Konzept für den elektrifizierten automobilen Antriebsstrang

von Dipl.-Ing. Gerrit Narjes und M.Sc. Bastian Weber

Das Gesamtziel des BMWi-geförderten Verbundprojekts Speed2E ist die Konzeption, die Optimierung und der Aufbau eines Hochdrehzahl-Antriebsstrangs für die Anwendung in Elektrofahrzeugen. Eine Steigerung der Drehzahl der elektrischen Antriebsmaschine bietet dabei das Potenzial, die Leistungsdichte der E-Maschine (EM) und den Gesamtwirkungsgrad des Antriebs erheblich zu steigern. Bei den heutigen Antriebstopologien elektrisch angetriebener Fahrzeuge sind Drehzahlen bis maximal 15.000 min^{-1} üblich, im Speed2E-Projekt sollen dagegen Drehzahlen bis 30.000 min^{-1} realisiert werden.

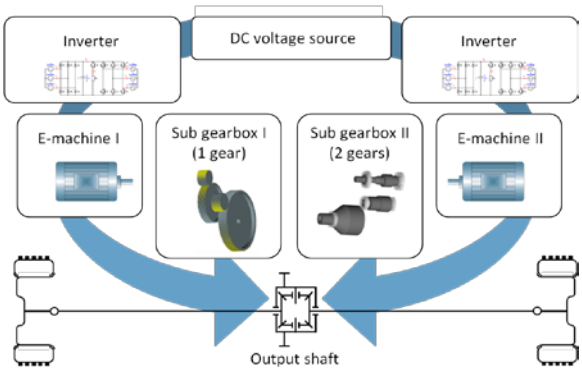


Abb. 1: Antriebstopologie im Speed2E-Projekt
Fig. 1: Speed2E drive system

Im Rahmen des Projekts soll als Demonstrator ein Doppel-E-Antrieb mit je einem Getriebe mit konstanter Übersetzung und einem 2-Gang-Getriebe realisiert werden. Zunächst sind die Entwürfe einer permanentmagneterregten Synchronmaschine (PMSM) und einer Induktionsmaschine mit Käfigläufer (IM) gegenübergestellt worden, um das geeignetste Antriebskonzept zu identifizieren. Im direkten Vergleich der Wirkungsgradkennfelder zeigt sich, dass beide Maschinen eine ähnliche Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik aufweisen. Das maximale Drehmoment sowie das maximal erreichbare Drehmoment bei der Maximaldrehzahl sind ausrei-

Speed2E – Innovative Ultra High-Speed Multistage Concept for Electrified Power Trains in Vehicles

by Dipl.-Ing. Gerrit Narjes and M.Sc. Bastian Weber

The overall goal of the BMWi-funded joint project Speed2E is the development, optimization and construction of a high-speed power train for use in electric vehicles. Increasing the speed of an electric drive bears the potential for increasing the electrical machine's power density and the vehicle's overall efficiency considerably. In today's electric vehicle drive topologies, speeds of 15,000 rpm maximum are common practice. However, the Speed2E project aims at speeds up to 30,000 rpm.

Within the scope of the project, a double e-drive demonstrator shall be developed which is based on two electric drive units and a transmission with two parallel sub gearboxes. To identify the most appropriate drive topology, the design of a permanent magnet synchronous machine (PMSM) was compared to the one of a cage induction motor (IM). A comparison of the efficiency maps reveals similar speed-torque characteristics for both machines. The maximum torque as well as the maximum achievable torque at maximum speed is high enough to provide for the specified vehicle operation. This can also be seen from the energy consumption which is practically identical (see Table 1).

Table 1: Comparison of energy consumption

Energy consumption per 100 km			
NEFZ		Artemis	
PMSM	IM	PMSM	IM
10.8 kWh	10.8 kWh	15.3 kWh	15.3 kWh

Considering particularly the rotor and the bearing temperatures, the PMSM is clearly more advantageous due to the missing rotor losses. For this reason, it was chosen for the demonstrator.

Figure 2 shows the cross-section of a double pole pitch of the designed PMSM. It is a four-pole machine with a 5/6 short-pitched distributed winding. Cogging torques and

torque ripple is reduced by the sinusoidal rotor pole shape.

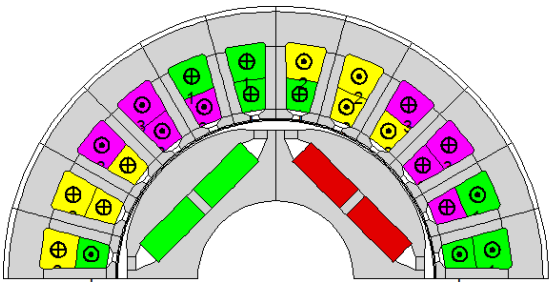


Abb. 2: Querschnitt der dimensionierten PMSM

Fig. 2: Cross-section of the designed PMSM

The power electronic concept is based on a two-level converter with DC link. Conforming to the electric drive, the high-speed concept requires a converter with high DC link voltage. Furthermore, the inverter demands high switching frequencies, in order to guarantee for sufficiently low harmonics in the current at output frequencies of 1 kHz. In the course of the project, a DC link voltage of 800 V and a switching frequency of 16 kHz were specified. The MOBILE system of Lenze Schmidhauser AG was chosen as the basic product platform for power electronics, the power semiconductors being equipped with silicon IGBTs as standard. Within the project, another subject of research is to apply hybrid modules using silicon IGBTs and silicon carbide diodes.

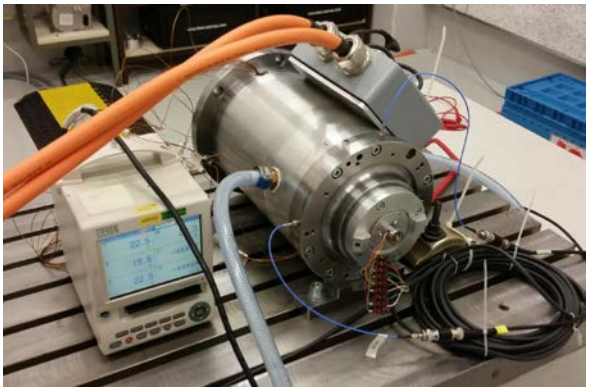


Abb. 3: Speed2E-Maschine

Fig. 3: Speed2E machine

chend hoch, um den spezifizierten Fahrzeugbetrieb zu gewährleisten. Dies zeigt sich ebenfalls im Energieverbrauch, der nahezu identisch ist (Vergleich Tabelle 1).

Tabelle 1:Vergleich Energieverbrauch

Energieverbrauch auf 100 km			
NEFZ		Artemis	
PMSM	IM	PMSM	IM
10,8 kWh	10,8 kWh	15,3 kWh	15,3 kWh

Insbesondere im Hinblick auf die Temperatur des Rotors und damit der Lager besitzt die PMSM aufgrund der fehlenden Läuferwicklung und der in dieser entstehenden Verluste deutliche Vorteile, weshalb sie im Demonstrator realisiert wird.

Abbildung 2 zeigt den Querschnitt einer doppelten Polteilung der entworfenen PMSM. Die Maschine ist vierpolig mit einer verteilten, 5/6-gesehnten Wicklung. Zur Reduzierung der Rastmomente und der Drehmomentwelligkeit dient die Sinusfeldkontur der Läuferpole.

Das leistungselektronische Konzept basiert auf einem Zweipunktumrichter mit Gleichspannungszwischenkreis. Aufgrund des Hochdrehzahlkonzepts ergibt sich in Abstimmung mit der Auslegung der Antriebsmaschine die Anforderung, dass ein Umrichter mit einer hohen Zwischenkreisspannung realisiert werden muss. Des Weiteren ergibt sich die Anforderung einer hohen Schaltfrequenz des Wechselrichters, um bei Ausgangsfrequenzen von 1 kHz noch ausreichend oberschwingungsarme Ströme sicherzustellen. Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden eine Zwischenkreisspannung von 800 V und eine Schaltfrequenz von 16 kHz spezifiziert. Als grundsätzliche Plattform für die Leistungselektronik dient das System MOBILE der Firma Lenze Schmidhauser, welches als Leistungshalbleiter serienmäßig mit Silizium-IGBTs ausgestattet ist. Im Projekt wird außerdem der Einsatz von Hybridmodulen unter Verwendung von Silizium-IGBTs und Dioden in Siliziumkarbid-Technologie untersucht.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Gerrit Narjes, M.Sc. Bastian Weber
☎ +49 (0) 511 / 762 - 19440, +49 (0) 511 / 762 - 19407
✉ gerrit.narjes@ial.uni-hannover.de
✉ bastian.weber@ial.uni-hannover.de

Bezahlbare Elektrische REIchweite durch ModularitäT (BEREIT)

von Dipl.-Ing. Felix Müller-Deile und M.Sc. Hannes Heseding

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Verbundprojekts BEREIT werden modulare und skalierbare Antriebsstrangkonzepte erarbeitet, in Zusammenarbeit mit der Fa. Bosch prototypisch realisiert und am Prüfstand sowie in zwei Demonstratorfahrzeugen erprobt. Ziel des Projekts ist es, die spezifischen Kosten des Antriebsstrangs eines Plug-In-Hybridfahrzeugs zu senken. Die Strategie der Modularität und Skalierbarkeit zielt dabei vor allem auf die Erhöhung von Skaleneffekten bei OEMs und Zulieferern der Automobilindustrie ab.

Dabei soll eine Baureihe mit möglichst vielen Gleichteilen für einen möglichst großen Leistungsbereich entstehen. Bestimmend ist dabei der Zielkonflikt zwischen technisch optimalen Lösungen, dem Anspruch an Modularität und Skalierbarkeit sowie den Gesamtsystemkosten.

Als vielversprechend hat sich das Konzept der Längen- und Strangzahlskalierung unter Verwendung eines einheitlichen Stators für permanenterregte Synchronmaschinen (PSM) und Induktionsmaschinen (IM) herausgestellt. Bei diesem Konzept wird die E-Maschine bei steigender Leistung in diskreten Sprüngen in ihrer Länge skaliert, wobei der Blechschnitt identisch bleibt. Wird die Strangzahl nicht skaliert, steigt der benötigte Strangstrom (bei gleicher Strangspannung) proportional zur Länge bzw. Leistung der Maschine. Durch die Strangzahlskalierung wird die auf einen Strang bezogene Leistung annähernd konstant gehalten (siehe Abb. 1). Dieses Konzept hat den Vorteil, dass innerhalb der Baureihe identische Halbleitermodule (in unterschiedlicher Anzahl) verwendet werden können. Darüber hinaus soll durch den Einsatz von PSM- und IM-Rotoren in einem einheitlichen Stator sowie durch das Anheben der Zwischenkreisspannung durch einen optionalen DC/DC-Wandler eine Feinskalierung der Motorleistung erreicht werden (siehe Abb. 2).
E-Maschinen mit mehr als drei Strängen und den zugehörigen mehrphasigen Umrichtern haben über die Steigerung der Gleichteile (Skaleneffekte) hinaus auch Eigenschaften, die die Ziele niedriger Systemkosten und technischer Optimalität unterstützen. So kann im Allgemeinen bei

Affordable Electrical Range by Modularity (BEREIT)

by Dipl.-Ing. Felix Müller-Deile and M.Sc. Hannes Heseding

Within the scope of the joint research project BEREIT funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), modular and scalable drive topologies are being developed and prototypes constructed in cooperation with Bosch GmbH and tested on a test bench as well as in two demonstrator vehicles. Goal of the project is a cost reduction specifically for the drive train components used in plug-in hybrid electric vehicles. The modularity and scalability approach aims at increasing the economies of scale at OEMs and suppliers in the automotive sector.

In this context, a series of power trains with as many carry-over parts as possible shall be developed for a preferably large range of power. The great challenge is to solve the trade-off between technically optimized solutions, the demand for modularity and scalability and the cost spent on the overall system.

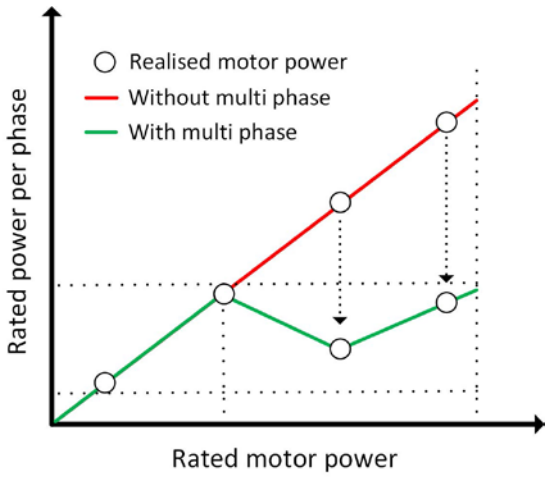


Abb. 1: Leistung pro Strang über der Bemessungsleistung
Fig. 1: Power per phase over rated power

Scaling of the length and the number of phases has proved to be a promising concept when using an identical stator in permanent magnet synchronous machines (PSM) and induction machines (IM). With this concept, the electric motor is scaled in discrete steps with increasing power in its length, whereas the laminations remain unchanged. If the number of

phases is not scaled, the required phase current increases proportional to length and power of the machine (while the phase voltage stays the same). By scaling the number of phases, the power related to one phase is kept nearly constant (see Fig. 1). The advantage is that (a varying number of) identical semiconductor modules can be applied throughout the whole series of power trains. Further measures of precisely scaling the motor performance shall be taken by using PSM and IM rotors integrated in identical stators as well as by increasing the DC link voltage via an optional DC/DC converter (see Fig. 2).

Beyond the increase of carry-over parts (economies of scale), electric motors with more than three phases and associated multiphase converters also provide for high cost efficiency and technical optimality of the system. As to multiphase DC/DC converters, the required filter inductance can generally be reduced by interleaving the phases. As there is less current ripple at the DC link, multiphase converters require lower DC link capacitances (volume and cost reduction).

On the other hand, the torque density of the machine can be increased by choosing the appropriate star point topology (identical star point for all phases) and connecting in a six-phase machine the star point with the neutral point of the DC link voltage and by impressing a third harmonic current. Other star point and DC link topologies may for example increase the system redundancy.

For validating the different concepts and simulation results, two prototypes are presently under construction at Bosch which will be tested by measurements on an IAL test bench in spring 2016.

mehrphasigen DC/DC-Wandlern durch Interleaving der Phasen die nötige Induktivität des Wandlers reduziert werden. Mehrphasige Umrichter benötigen aufgrund der geringeren Zwischenkreisbelastung durch Stromwelligkeiten geringere Zwischenkreiskapazitäten (Bauvolumen und Reduktion von Kosten).

Auf der anderen Seite kann durch die Wahl eines geeigneten Sternpunktkonzepts (gemeinsamer Sternpunkt aller Phasen) und das Verbinden des Sternpunkts mit dem Mittelpunkt der Zwischenkreisspannung bei einer sechsphasigen Maschine durch das Einprägen einer 3. Stromharmonischen die Drehmomentdichte der Maschine gesteigert werden. Mit anderen Sternpunkt- und Zwischenkreiskonzepten kann andererseits die Redundanz des Systems erhöht werden.

Zur Validierung der unterschiedlichen Konzepte und der Simulationsergebnisse werden derzeit zwei Prototypen durch die Firma Bosch gefertigt und im Frühjahr 2016 auf einem Prüfstand am IAL vermessen.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Felix Müller-Deile, M.Sc. Hannes Heseding
☎ +49 (0) 511 / 762 - 2510, +49 (0) 511 / 762 - 3778
✉ felix.mueller.deile@ial.uni-hannover.de
✉ hannes.heseding@ial.uni-hannover.de

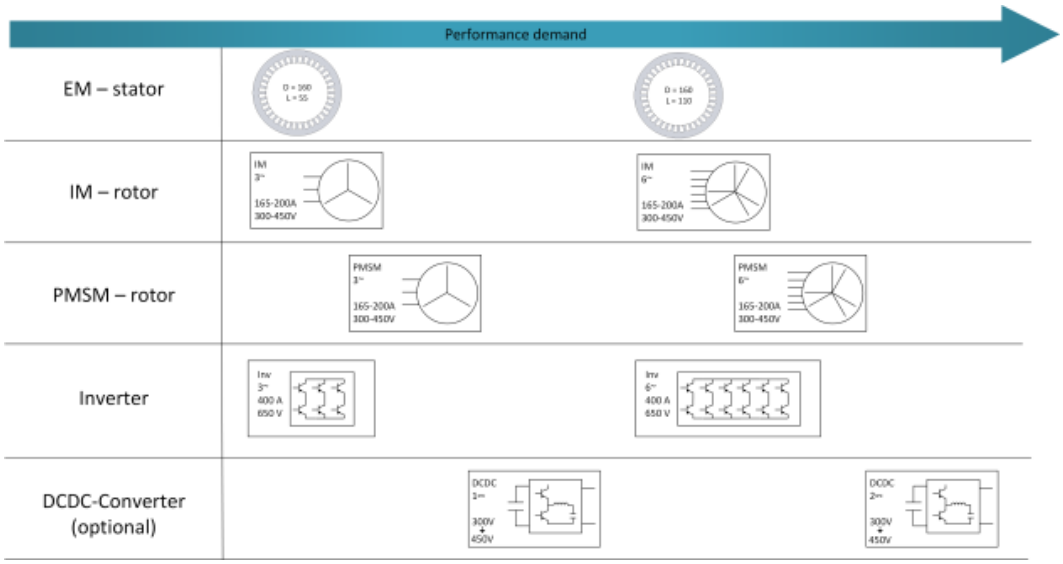


Abb. 2: Leistungsskalierung einer Baureihe

Fig. 2: Scaling of power in one series of power trains

Funktionale Sicherheit von permanentmagneterregten Synchronmaschinen in Elektrofahrzeugen (FuSy)

von Dipl.-Ing. Tobias Krone, Dipl.-Ing. Fabian Oelkers und Dipl.-Ing. Alexander Rosen (IFAM)

Bei Antriebsystemen mit permanentmagneterregten Synchronmaschinen kann es in Folge von Fehlerfällen in der Maschine oder im Antriebsumrichter zu kritischen Zuständen im Antriebssystem kommen. So kann es z. B. im Feldschwächbereich zu Überspannungen an den Motorklemmen kommen. Außerdem können hohe Brems- oder Pendelmomente auftreten, die kritische Fahrsituationen auslösen können. Das Ziel des Verbundvorhabens FuSy war es daher, in Fehlerfällen das Auftreten von unerwünschten Brems- und Antriebsmomenten zu vermeiden und so die funktionale Sicherheit elektrischer Antriebssysteme mit permanentmagneterregten Synchronmaschinen weiter zu erhöhen. Dazu wurden in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM neuartige Konzepte zur Antriebsüberwachung und Fehlerbehandlung in Kombination mit alternativen, fehlertoleranten Antriebstopologien entwickelt und erprobt.

Abb. 1: Erprobungsfahrzeug Frecc0 R mit elektrischem Radnabenantrieb (Fraunhofer IFAM)

Fig. 1: Test vehicle Frecc0 R with electric wheel hub drive (Fraunhofer IFAM)

Zur Verbesserung der Fehlererkennung wurden am IAL neue Verfahren zur halbleiternahen Erkennung von Umrichterfehlern konzipiert und in einem Demonstrator erfolgreich getestet. Außerdem wurde eine Fehlerdetektion für Sensorfehler im Rotorlagegeber und in den Stromsensoren auf Grundlage von Beobachterstrukturen entwickelt und in die Antriebsregelung implementiert. Die Schätzwerte aus den Beobachtern können im Fehlerfall zusätzlich als redundante Sensorik verwendet werden. Die Implementierung der Fehlererkennungs- und Fehlerbehandlungs-

Functional Safety of Permanent Magnet Synchronous Machines in Electric Vehicles (FuSy)

by Dipl.-Ing. Tobias Krone, Dipl.-Ing. Fabian Oelkers and Dipl.-Ing. A. Rosen (IFAM)

In drive systems using permanent magnet synchronous machines, machine or converter errors might cause critical states in the drive system. For example in the field weakening range, overvoltages might occur at the motor terminals. Other effects might be high braking or oscillating torques, leading to critical driving situations. The aim of the joint project FuSy was to avoid undesirable braking and driving torques and to increase the functional safety of permanent magnet synchronous machines used in electric vehicles. In cooperation with Fraunhofer IFAM, a novel drive monitoring and error correction concept was developed and tested in combination with alternative fault-tolerant drive topologies.

To improve error detection, new methods for detecting converter errors in the vicinity of the semiconductors were developed and successfully tested on a demonstrator at IAL. In addition, an error detection system for sensor errors in the rotor position sensor and in the current sensors were developed based on observer structures and implemented into the drive control. In case of an error, the estimates from the observers can additionally be used as redundant sensors. The error detection and correction methods were implemented into the motor control systems at IFAM.

For an optimum error correction and to avoid critical driving situations, fault-tolerant drive topologies were also designed and investigated. Besides the topology already realized in the wheel hub drive of Frecc0 (Fig. 1 and 4) using several electrically independent three-phase systems, several multi-phase topologies with single phases without star point were also set up in the laboratory. Apart from fault tolerance, such topologies, when designed appropriately, may provide for higher power densities and less torque ripple, thus compensating for the more complicated control method.

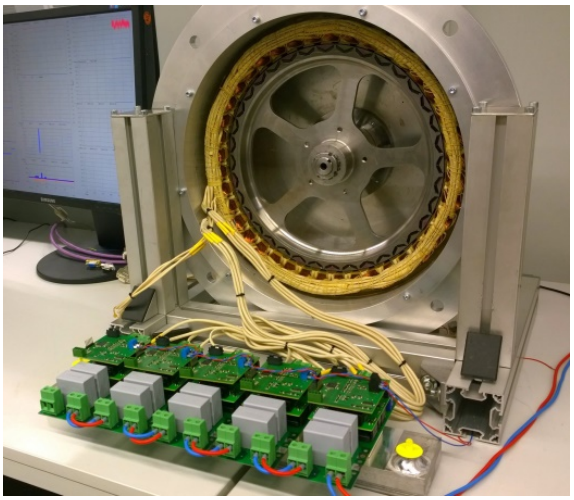


Abb. 2: Prüfstandsdemonstrator

Fig. 2: Test bench demonstrator

The test bench demonstrator (Fig. 2) is a direct drive with five independent single phases, which is fed by an inverter with five full bridges. The error detection and correction was tested on the drive system successfully. Moreover, the motor predictions could be verified by measurements.

In a final step, the error detection systems were implemented in the IFAM test vehicle Frecc0. The correct operation could be verified by test drives on a test track (Fig. 3). Thanks to the excellent cooperation with IFAM in the project FuSy, a novel concept for an increased functional safety of drive systems could be developed and tested.

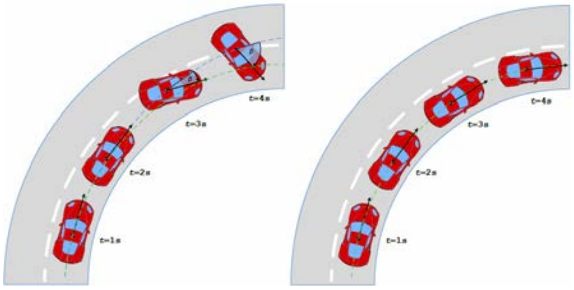


Abb. 3: Fahrzeugverhalten bei einem Winkeloffsetfehler ohne (links) und mit Fehlerbehandlung (rechts)

Fig. 3: Vehicle behaviour in case of an offset error (left) and after error correction (right)

verfahren in die Motorsteuersysteme erfolgte am IFAM.

Zur optimalen Fehlerbehandlung und damit zur Vermeidung kritischer Fahrsituation wurden ergänzend dazu fehlertolerante Antriebstopologien konzipiert und untersucht. Neben der bereits im Radnabenantrieb des Frecc0 (Abb. 1 und 4) realisierten Topologie mit mehreren, voneinander elektrisch unabhängigen Dreiphasensystemen wurden auch mehrsträngige Topologien mit Einzelphasen ohne Sternpunktkopplung im Labor aufgebaut. Es konnte gezeigt werden, dass derartige Topologien neben der Fehlertoleranz die Vorteile bieten, dass bei richtigem Design höhere Leistungsdichten und eine geringere Drehmomentwelligkeit erreicht werden können. Diese Vorteile können den Nachteil der aufwendigeren Ansteuerung aufwiegen.

Beim Prüfstandsdemonstrator (Abb. 2) handelt es sich um einen Direktantrieb mit fünf unabhängigen Einzelphasen, der von einem Wechselrichter mit fünf Vollbrücken gespeist wird. Die Erkennung und Behandlung von Fehlern wurden an diesem Antriebssystem erfolgreich erprobt. Darüber hinaus konnte die Vorausberechnung des Motors durch Messungen bestätigt werden.

Abschließend wurden die Fehlererkennungssysteme im Versuchsfahrzeug Frecc0 des IFAM implementiert. Mit Hilfe von Versuchsfahrten auf einer Teststrecke konnte die Funktionsfähigkeit nachgewiesen werden (Abb. 3). Insbesondere durch die sehr gute Zusammenarbeit mit dem IFAM konnte so im Projekt FuSy ein Konzept zur weiteren Verbesserung der funktionalen Sicherheit von Antriebsystemen entwickelt und erprobt werden.

Abb. 4: Fraunhofer Radnabenmotor

Fig. 4: Fraunhofer wheel hub drive

Kontakt:

Dipl.-Ing. Tobias Krone
☎ +49 (0) 511 / 762 - 2839
✉ tobias.krone@ial.uni-hannover.de

SiC-Umrichter für Hybridfahrzeuge

von Dipl.-Ing. Arvid Merkert, Dipl.-Ing. Jan Müller und M.Sc. Christian Sommer

Bei Fahrzeugen mit Hybridantrieb treffen besonders hohe Anforderungen an einen platzsparenden Aufbau der Leistungselektronik zusammen mit einer hohen Kühlmitteltemperatur von 105°C. Gleichzeitig werden hier oft niedrige Batteriespannungen von 100 bis 200 V verwendet, wodurch für eine elektrische Antriebsleistung von ca. 60 kW große Ströme und Leiterquerschnitte erforderlich sind. Daher ist in diesen Anwendungen der Einsatz eines zusätzlichen DC-DC-Wandlers zwischen Batterie und Wechselrichter nützlich (Abb. 1). Er ermöglicht außerdem, die Zwischenkreisspannung des Wechselrichters an die jeweilige Fahrsituation anzupassen, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erzielen. Um den DC-DC-Wandler möglichst kompakt auszulegen, ist eine hohe Schaltfrequenz von Vorteil. Sie ermöglicht weiterhin, eine niedrige Zwischenkreiskapazität einzusetzen, um so das Volumen der gesamten Leistungselektronik weiter zu reduzieren.

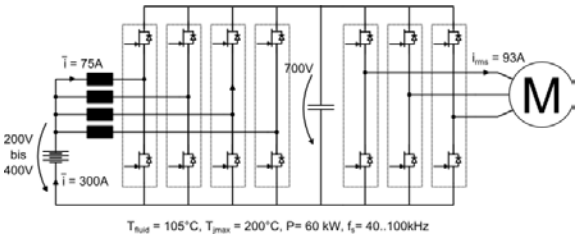


Abb. 1: Schaltbild des Umrichters und technische Daten

Fig. 1: Circuit diagram of converter and technical data

Diese Zusammenhänge machen SiC-Leistungshalbleiter, die bei 1200 V eine vielfach höhere Schaltfrequenz ermöglichen als Si-IGBTs, besonders interessant für den Einsatz in Hybridfahrzeugen. In einem von der FVA geförderten Projekt wurde daher untersucht, inwieweit sich durch den Einsatz von SiC-Leistungshalbleitern das Volumen, das Gewicht, die Verluste und die erforderliche Chipfläche eines solchen Umrichtersystems reduzieren lassen.

Zu diesem Zweck wurden SiC-JFET-Module prototypisch von Infineon zur Verfügung gestellt. Im Rahmen des Projektes wurden diese Leistungshalbleiter umfassend charakterisiert, um ein analytisches Verlustmodell und ein transientes

SiC Converters for Hybrid Vehicles

by Dipl.-Ing. Arvid Merkert, Dipl.-Ing. Jan Müller and M.Sc. Christian Sommer

In hybrid vehicles, the demand for space-saving power electronic design solutions coincides with high coolant temperatures of 105°C. In addition, low battery voltages of 100 to 200 V often require large currents and conductor cross-sections to be able to achieve an electrical power of about 60 kW. Therefore, an additional DC/DC converter between battery and inverter (Fig. 1) should be used in such applications. For optimum efficiency, it allows to adapt the inverter's DC link voltage to the respective driving situation. With a high switching frequency, a compact DC/DC converter design can be realized. Another advantage is the possibility to use a low DC link capacitance, reducing even more the volume of the overall power electronic system.

These correlations make SiC power semiconductors especially interesting for use in hybrid vehicles, as they permit a much higher switching frequency at 1200 V than Si IGBTs. Topic of an FVA-funded project was to investigate in how far volume, weight, losses and required chip size of the aforementioned converter system can be reduced when applying SiC power semiconductors.

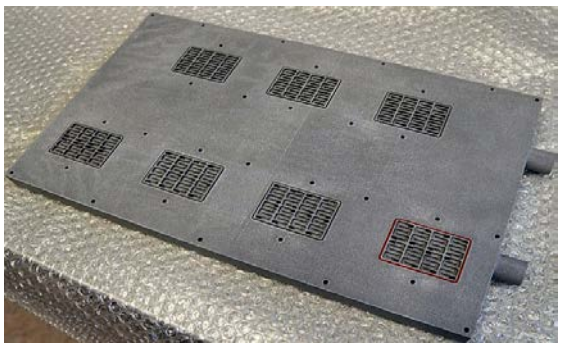


Abb. 2: Wasserkühlkörper 220 mm x 360 mm

Fig. 2: Water-cooled heatsink of 220 x 360 mm

Within the scope of the project, SiC-JFET prototype modules of Infineon were characterized in detail to be able to develop an analytical loss model and a transient thermal model. A driver stage with redundant current supply was developed to control the Normally-On JFETs and to keep the components in the off state, even if the low-voltage supply is lost.

Efficient water cooling was realized by developing a cooler, based on the Danfoss Shower Power® concept, which was produced on a 3D printer (Fig. 2).

The control concept was designed in such a way that the switching transitions of the DC/DC converter were coordinated with the inverter in order to keep the DC link current stress low. The best results are obtainable with a DC/DC converter designed with four parallel phases. Compared to simple interleaving, considerable improvements are possible.

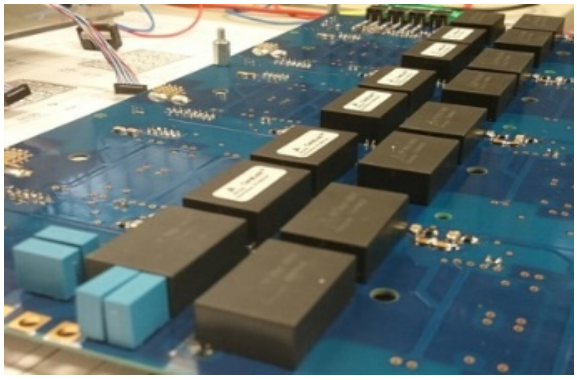


Abb. 3: Zwischenkreiskondensatoren des Umrichters

Fig. 3: DC link capacitors of the converter

After careful design, the 60 kW converter was set up in the laboratory (Fig. 3, 4) and put into operation (Fig. 5). The impressive results in comparison to an industrial hybrid drive with 1200 V Si IGBTs are summarized in Tab. 1:

Quantity	Reduced to
Total chip surface	24% (approx. 1/4)
Volume of inductors	19% (approx. 1/5)
Volume of DC link capacitors	7.5% (approx. 1/12)

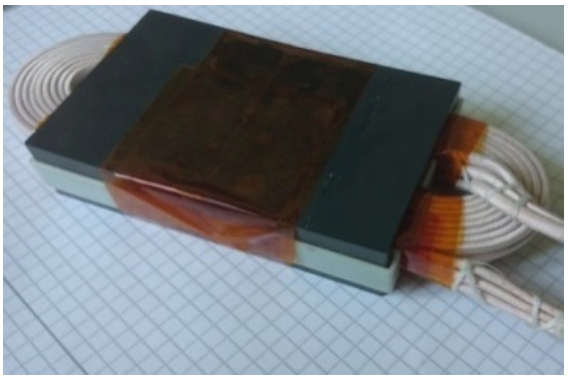


Abb. 4: Induktivität einer Phase des DC-DC-Wandlers (75 A, 30 µH)

Fig. 4: Inductance of one phase of the DC/DC converter (75 A, 30 µH)

thermisches Modell abzuleiten. Zur Ansteuerung der Normally-On-JFETs wurde eine Treiberstufe mit redundanter Stromversorgung entwickelt, um auch bei ausgefallener 12V-Versorgung die Bauteile sicher zu sperren. Für eine effiziente Wasserkühlung wurde auf Basis des ShowerPower®-Konzepts von Danfoss ein Kühlkörper entwickelt und mit Hilfe eines 3D-Druckverfahrens hergestellt (Abb. 2).

Zur Steuerung und Regelung wurde ein Konzept entwickelt, um die Schaltvorgänge des DC-DC-Wandlers mit dem Wechselrichter so zu koordinieren, dass ein möglichst niedriger Strom den Zwischenkreis belastet. Die besten Ergebnisse lassen sich erzielen, wenn der DC-DC-Wandler mit vier parallelen Phasen ausgeführt wird. Gegenüber einem einfachen Interleaving lassen sich damit nochmals deutliche Verbesserungen erreichen.

Der 60-kW-Umrichter wurde nach sorgfältiger Dimensionierung im Labor aufgebaut (Abb. 3, 4) und in Betrieb genommen (Abb. 5). Die beeindruckenden Ergebnisse im Vergleich mit einem industriellen Hybrid-Antrieb mit 1200 V Si-IGBTs sind in Tab. 1 zusammengefasst:

Größe	Reduktion auf
Gesamte Chipfläche	24% (ca. 1/4)
Volumen der Induktivitäten	19% (ca. 1/5)
Volumen der Zwischenkreis-kondensatoren	7,5% (ca. 1/12)

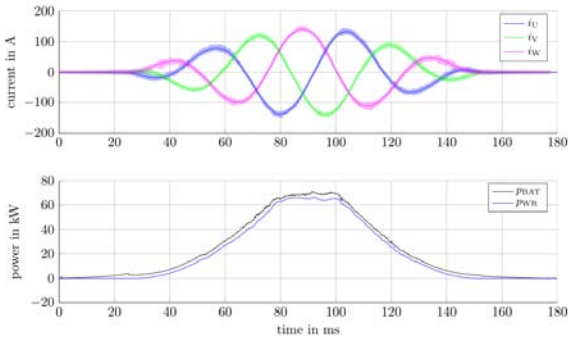


Abb. 5: Testbetrieb mit bis zu 65 kW

Fig. 5: Test run at up to 65 kW

Kontakt:

Dipl.-Ing. Jan Müller
☎ +49 (0) 511 / 762 - 2896
✉ jan.mueller@ial.uni-hannover.de

Synchrone Reluktanzmaschinen als Fahrzeugantrieb

von Dipl.-Ing. Jonathan Jürgens

Im von der EU geförderten Projekt „Synchronous Reluctance Next Generation Efficient Motors for Electric Vehicles (SyrNemo)“ forscht das IAL gemeinsam mit Partnern aus 4 Ländern daran, einen elektrischen Traktionsantrieb zu entwickeln, bei dem aufgrund von ökologischen Aspekten auf die Verwendung von Seltenerdmetallen verzichtet wird. Die ursprüngliche Idee, synchrone Reluktanzmaschinen als Alternativen zu den weit verbreiteten permanentmagneterregten Synchronmaschinen (PMSM) zu verwenden, wurde während des Projektverlaufs aufgrund des prinzipbedingt starken Leistungsabfalls im Feldschwächbereich verworfen. Deutlich bessere Eigenschaften lassen sich erreichen, wenn bei synchronen Reluktanzmaschinen zusätzliche Permanentmagnete (PM) aus einem Ferritmaterial in die Flussbarrieren des Rotors eingebracht werden. Streng genommen handelt es sich dann wieder um eine PMSM, wenn auch ohne Magnete auf Basis von Seltenerdmetallen. Im englischen Sprachraum ist jedoch die Bezeichnung „PM-assisted synchronous reluctance motor“ verbreitet.

Abb. 1: Querschnitt des Rotors der SyrNemo-Maschine

Fig. 1: Rotor cross-section of SyrNemo machine

Der entwickelte sechspolige Rotoraufbau (Abb. 1) ist dahingehend optimiert, eine geeignete Flussführung des PM-Flusses bei hohem Reluktanzanteil und ausreichender mechanischer Festigkeit bei Umfangsgeschwindigkeiten bis zu 105 m/s zu gewährleisten. Die Umsetzung einer hohen Drehmomentdichte wird durch die Verwendung einer sog. Haarnadelwicklung (Abb. 2) unterstützt, die es erlaubt, den axialen Wicklungskopf im Vergleich zu konventionellen ver-

Synchronous Reluctance Machines Used as Vehicle Drives

by Dipl.-Ing. Jonathan Jürgens

Within the scope of the EU-funded project “Synchronous Reluctance Next Generation Efficient Motors for Electric Vehicles (SyrNemo)“, the IAL is doing joint research with partners from four nations on an electric traction drive, in which no rare-earth metals are used due to environmental aspects. The original idea of using synchronous reluctance machines (SYRM) instead of the widespread permanent magnet synchronous machines (PMSM) has been abandoned throughout the project because of the high loss of output power in the field weakening range resulting from the SYRM’s operating principle. More favourable characteristics can be reached when inserting additional permanent magnets (PM) made of ferrite materials into the rotor’s flux barriers. Strictly speaking, it is a PMSM without rare-earth-based magnets, also known as “PM-assisted synchronous reluctance motor“.

The developed six-pole rotor design (Fig. 1) has been optimized to ensure suitable PM flux paths with a high reluctance component and sufficient mechanical strength to withstand circumferential speeds of up to 105 m/s. High torque densities are achieved by using a so-called hairpin winding (Fig. 2), thus allowing for shorter axial end-windings as with a conventional distributed round-wire winding.

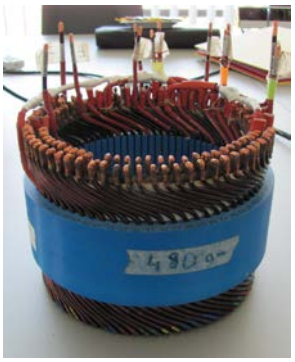


Abb. 2: Modell der Haarnadelwicklung in einem verkürzten Stator

Fig. 2: Model of a hairpin winding in a shortened stator

A hairpin winding is a two-layer bar winding (i.e. just two conductors in each slot) with rec-

tangular-shaped copper conductors. The inevitable skin effect is limited by the separation of each conductor into two parallel sub-conductors, so that the advantages of the hairpin winding are predominant for a large part of the machine's operating range compared to conventional round-wire windings. Nevertheless, the feasible slot height is relatively small, and there are many other restrictions on common design degrees of freedom. For example, changing the number of turns per phase results in a changed number of slots, and short-pitching implies considerably higher manufacturing cost. To keep torque ripple low, additionally to the typical skewing realized by several shifted rotor segments (Fig. 3), the outer rotor edge is specifically shaped by creating slots of small depth.

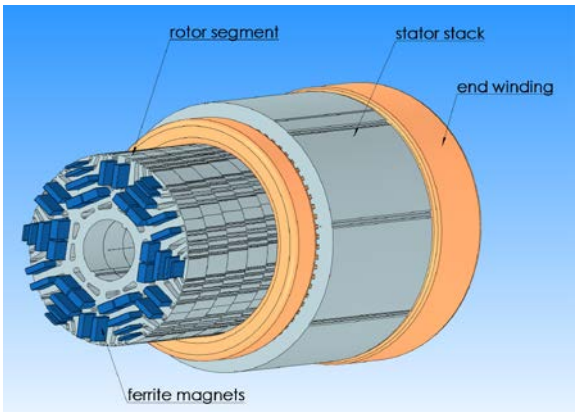


Abb. 3: CAD-Zeichnung der E-Maschine

Fig. 3: CAD drawing of the electric machine

To obtain high efficiency, current density is limited to max. 9 A/mm² for operation at overload. That way, the drive consisting of electric motor and converter can be integrated into an air-cooled housing (Fig. 4). The designed electric motor has a maximum power of about 56 kW and can be operated at speeds of up to 12,000 rpm. Prototypes are under construction and will be validated by measurements during the first half of 2016.

teilten Runddrahtwicklungen zu reduzieren. Dabei handelt es sich um eine Zweischicht-Stabwicklung (d.h. mit nur zwei Leitern je Nut) mit Profilleitern aus Kupfer. Die unvermeidlichen Stromverdrängungseffekte werden durch die Unterteilung in zwei parallel geschaltete Teilleiter so begrenzt, dass die Vorteile der Haarnadelwicklung in weiten Teilen des Arbeitsbereichs der Maschine im Vergleich zu den konventionellen Runddrahtwicklungen überwiegen. Allerdings ist die sinnvoll ausführbare Nuthöhe vergleichsweise gering, und es existieren eine Reihe weiterer Beschränkungen der üblichen Entwurfsfreiheitsgrade. Eine Änderung der Strangwindungszahl hat beispielsweise eine Änderung der Nutzahl zur Folge, und die Ausführung einer Wicklungssehnung führt zu erheblichem fertigungstechnischem Mehraufwand. Um dennoch die Drehmomentwelligkeit gering zu halten, wird zusätzlich zu einer üblichen, in mehreren Rotorsegmenten ausgeführten Schrägung (Abb. 3) der äußere Rand des Rotors durch die Einbringung von Nuten geringer Tiefe gezielt geformt. Mit dem Ziel eines hohen Wirkungsgrads wird die maximale Stromdichte im Überlastbetrieb auf 9 A/mm² begrenzt. Dadurch ist es möglich, den Antrieb, bestehend aus Umrichter und E-Maschine, in einem luftgekühlten Gehäuse unterzubringen (Abb. 4). Die dimensionierte E-Maschine weist eine Maximalleistung von etwa 56 kW auf und wird bis zu einer Drehzahl von 12.000 1/min betrieben. Die Prototypen werden derzeit gefertigt und im ersten Halbjahr 2016 am Prüfstand messtechnisch erprobt.

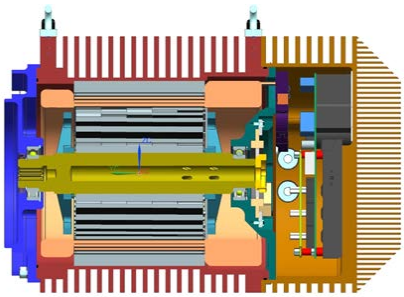


Abb. 4: Querschnitt des Antriebs bestehend aus E-Maschine und Umrichter in einem luftgekühlten Gehäuse

Fig. 4: Drive cross-section with e-motor and converter installed in an air-cooled housing

Kontakt:

Dipl.-Ing. Jonathan Jürgens
☎ +49 (0) 511 / 762 - 19477
✉ jonathan.juergens@ial.uni-hannover.de

Bürstenlose Erregung von Synchronmaschinen

von Dipl.-Ing. Henrik Krupp
und Dipl.-Ing. Niklas Weber

Elektrisch erregte Synchronmaschinen (ESM) gewinnen derzeit im Bereich von Fahrzeugantrieben an Bedeutung. Typische Erregerleistungen für ESM für Fahrzeugantriebe liegen im Bereich von einigen hundert Watt bis zu (kurzzeitig) einigen Kilowatt. Zur Versorgung der Erregerwicklung werden üblicherweise Schleifring-Kohlebürsten-Systeme verwendet. Aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegen Umwelteinflüsse (Feuchtigkeit, Öl und Staub), sind diese gekapselt in einer separaten Kammer außerhalb des Maschinengehäuses unterzubringen.

Gegenstand der Forschung am IAL sind kompakte bürstenlose Übertragersysteme (Abb. 1) für ESM, deren wesentlicher Bestandteil ein rotationssymmetrischer Transformator (sog. „Drehübertrager“, Abb. 2) ein sekundärseitiger Gleichrichter und ein primärseitiger Wechselrichter sind. Die Sekundärseite des Drehübertragers ist zusammen mit dem Gleichrichter auf dem Rotor der Maschine angebracht. Die Primärseite des Drehübertragers wird vorzugsweise am Lagerschild montiert. Der Wechselrichter befindet sich außerhalb des Maschinengehäuses.

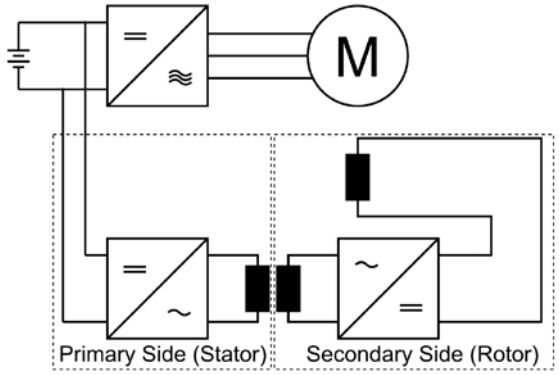


Abb. 1: Schaltbild einer ESM mit bürstenlosem Übertragersystem

Fig, 1: Circuit diagram of an ESM with brushless excitation system

Die in den Rotor integrierten Komponenten müssen eine hohe mechanische Festigkeit aufweisen, um den auftretenden Fliehkräften zu widerstehen; dies hat einen wesentlichen Einfluss auf die Konstruktion des Drehübertragers. Aufgrund

Brushless Excitation System for Synchronous Machines

by Dipl.-Ing. Henrik Krupp
and Dipl.-Ing. Niklas Weber

Currently, electrically excited synchronous machines (ESM) gain more and more importance in vehicle drive applications. The typical excitation power of ESMs used for vehicle drives ranges from a few hundred watts to (temporarily) some kilowatts. To supply the rotor winding, electrically excited synchronous machines typically have brushes and slip rings. Due to their sensitivity to environmental influences (moisture, oil and dust), they have to be placed in a separate chamber outside the machine housing.

The IAL is currently doing research on compact brushless excitation systems (Fig. 1) for use in ESMs. The main components comprise a rotationally symmetrical transformer (so-called rotary transformer, Fig. 2), a rectifier on the secondary side, and an inverter on the primary side. The rotary transformer's secondary side is mounted, together with the rectifier, on the rotor of the machine. The rotary transformer's primary side is preferably mounted on the end shield. The inverter is placed outside the machine housing.

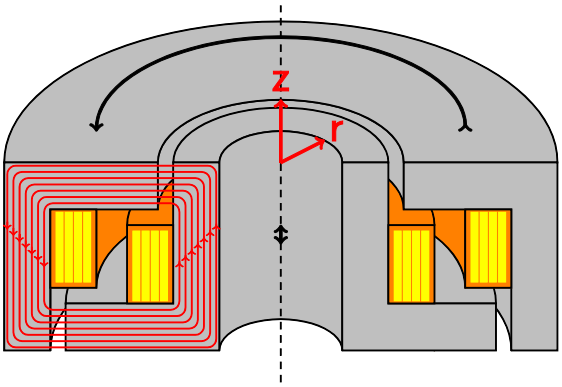


Abb. 2: Querschnitt eines L-Profil-Drehübertragers

Fig. 2: Cross-section of an L-shaped rotary transformer

The components integrated into the rotor must show high mechanical strength to withstand the specific centrifugal forces, which has a considerable influence on the transformer design. As the focus is on vehicle drive applications, they must be designed with (air-)gap widths between 0.5 mm and 1.0 mm, typical

for vehicle drives. The goal is to integrate the excitation system completely into the interior space of the electrical machine (except the inverter), so that no extra housing is required. Besides design and optimization strategies for the rotary transformers made of ferrites or electric sheets, research also focuses on power and signal electronics to deal with the respective control tasks, for example the adjustment of the excitation current.

Within the scope of an ECPE-funded project, a rotary excitation system with ferrite core was designed for continuous operation at an output power of 400 W and ambient temperatures of 100° C (Fig. 3). Considering just the components integrated in the interior space of the ESM, the power density is 16 kW/l with 91 % efficiency (including inverter). The system was successfully tested at 8,000 min^{-1}.

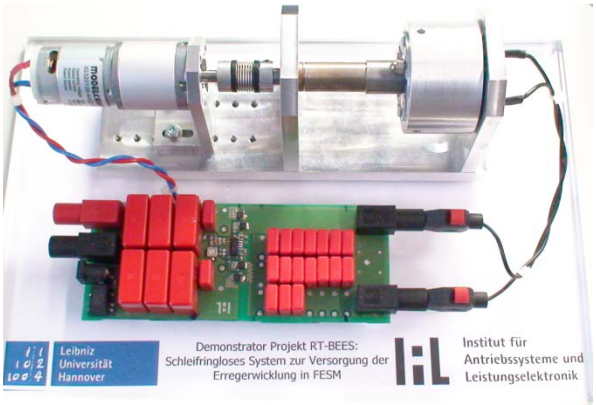


Abb. 3: Demonstrator eines Ferritkern-Drehübertragersystems (rechts oben im Bild)

Fig. 3: Demonstrator of a ferrite core brushless excitation system (top right of the picture)

In another project, an excitation system with an output power of 1 kW was designed and realized, using electric sheets as core material. Thanks to the special sheet arrangement, the transformer is also applicable in ESMs with large shaft diameters.

der Fokussierung auf Fahrzeuganwendungen müssen diese mit den dort üblichen (Luft-)Spaltweiten im Bereich von 0,5 mm bis 1,0 mm dimensioniert werden. Das Ziel ist die vollständige Einbettung des Übertragersystems in den Innenraum der elektrischen Maschine (mit Ausnahme des Wechselrichters) ohne zusätzliche Kapselung. Gegenstand der Forschung sind daher neben Bemessungs- und Optimierungsstrategien für Drehübertrager aus Ferrit oder Elektroblechen auch Leistungs- und Signalelektronik für die auftretenden Steuer- und Regelungsaufgaben, z.B. zum Einstellen des Erregerstroms.

In einem durch die ECPE geförderten Projekt wurde ein Ferritkern-Drehübertragersystem für 400 W Ausgangsleistung im Dauerbetrieb für Umgebungstemperaturen von 100° C realisiert (Abb. 3). Berücksichtigt man nur die im Innenraum der ESM verbauten Komponenten, wird eine Leistungsdichte von 16 kW/l erreicht bei einem Wirkungsgrad (einschließlich des Wechselrichters) von 91 %. Das System wurde erfolgreich bei 8.000 min^{-1} erprobt.

In einem weiteren Projekt wurde ein Drehübertrager-System für eine Ausgangsleistung von 1 kW konzipiert und realisiert, bei dem als Kernmaterial Elektroblech eingesetzt wird. Aufgrund der speziellen Blechanordnung ist es möglich, den Übertrager auch in ESM mit großem Wellendurchmesser einzusetzen.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Henrik Krupp, Dipl.-Ing. Niklas Weber
☎ +49 (0) 511 / 762 - 4231, ☎ +49 (0) 511 / 762 - 19488
✉ henrik.krupp@ial.uni-hannover.de
✉ niklas.weber@ial.uni-hannover.de

Simulation elektrischer Antriebssysteme für Elektro- und Hybridfahrzeuge

von M.Sc. Hannes Heseding und Dipl.-Ing. Felix Müller-Deile

Im Rahmen des Forschungsbereichs Elektromobilität ist in interdisziplinärer Arbeit der beiden Fachgebiete des IAL eine Software zur Berechnung mechanischer, elektrischer und thermischer Größen der relevanten Komponenten des Antriebsstrangs von Elektro- und Hybridfahrzeuge entwickelt worden.

Der Fokus der Software liegt vor allem in der Berechnung des Gesamtsystems in Fahrzyklen und ausgewählten Arbeitspunkten sowie der Auslegung der leistungselektronischen Komponenten sowie des Batteriesystems (in Abb. 1 grau hinterlegt). In dieser Abbildung ist der Programmablauf für die Berechnung eines Fahrzyklus dargestellt. Ausgehend vom vorgegebenen Zyklus wird aus dem Fahrzeugmodell eine Drehzahl-Drehmomentanforderung berechnet. Das angeforderte Drehmoment wird entsprechend der vorgegebenen Betriebsstrategie auf die zur Verfügung stehenden Motoren verteilt. Für beide Motorarten (Verbrennungsmotor und E-Maschine) sind im Programm Kennfelder hinterlegt, die lastpunktabhängig die Bestimmung weiterer benötigter Größen (z.B. Strom und Spannung der E-Maschine) ermöglichen. Dabei können die mit den IAL-Berechnungsprogrammen PMOK (für PMSM), ASYN (für IM) und SPSYN (für SPSM) erstellbaren E-Maschinenkennfelder direkt übernommen werden. Mit Hilfe der integrierten thermischen Modelle für die genannten Maschinentypen kann der Einfluss der Rotor- und Statortemperatur auf das Verhalten der E-Maschine berücksichtigt werden.

Die nachgelagerten Komponenten Umrichter, DC/DC-Wandler und Batterie (letztere optional) können mithilfe der aus den Maschinenkennfeldern erhaltenen Daten und einer wählbaren Betriebsstrategie stationär und quasistationär berechnet werden. Der stationären Rechnung liegt dabei die Annahme zugrunde, dass jeder Arbeitspunkt im Fahrzyklus so lange gehalten wird, dass für die leistungselektronischen Komponenten stationäres Verhalten angenommen werden kann. Bei der quasistationären Berechnung erfolgt eine mit der Abtastzeit des Zyklus diskretisierte Berechnung dieser Komponenten.

Simulation of Electrical Drive Systems for Electric and Hybrid Electric Vehicles

by M.Sc. Hannes Heseding and Dipl.-Ing. Felix Müller-Deile

In the research field of electromobility, both chairs of IAL have developed an interdisciplinary software program for calculating the mechanical, electrical and thermal quantities of relevant drive train components used in electric and hybrid electric vehicles.

The software program is mainly focused on calculating the driving cycles and selected operating points of the overall system as well as on designing the power electronic components and the battery system (highlighted in grey in Fig. 1). Fig. 1 shows the program flow for the calculation of a driving cycle.

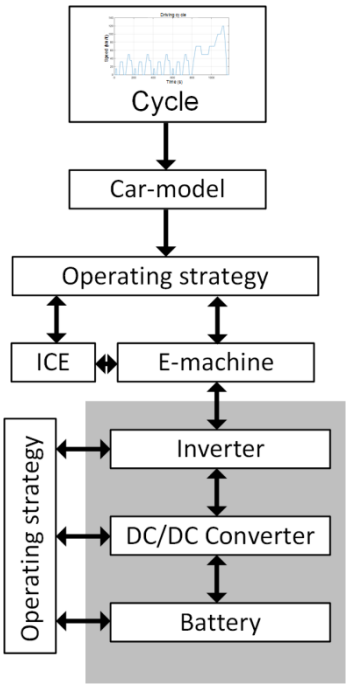


Abb. 1: Ablaufdiagramm der Fahrzyklusberechnung

Fig. 1: Program flow of driving cycle calculation

Starting from a given cycle, a speed/torque request is calculated based on the vehicle model. The requested torque is distributed over the available motors according to the selected operating strategy. For both engine types (combustion and electric motor), operating maps are stored in the program which,

depending on the load point, are required for determining further important quantities (such as current and voltage of electric motors). These operating maps can be created with the IAL software programs PMOK (for PMSM), ASYN (for IM) and SPSYN (for SPSM) and then directly be adopted. Considering the thermal models for the mentioned engine types, the influence of the rotor and the stator temperature on the behaviour of the electric motor can be taken into account.

Based on the data derived from the operating maps and according to the selected driving strategy, a stationary and quasi-stationary calculation of the downstream components like inverter, DC/DC converter and battery (optional) can be done. For the stationary calculation, the assumption is to hold each operating point during the driving cycle long enough that stationary behaviour of the power electronic components can be assumed. For the quasi-stationary calculation, the components are calculated in discrete steps along the sampling time of the cycle.

The calculation of mutual interactions between the drive train components is of particular interest. Most relevant is the influence of the load-dependent battery voltage on the DC/DC converter and/or on the inverter as well as the influence of current and voltage harmonics of an electric machine on its losses.

Beyond the calculation of driving cycles, thermal models also serve for determining continuous performance characteristics as well as drive train maps for the entire power train (see Fig. 2).

Hervorzuheben ist die Berechnung der wechselseitigen Rückwirkungen der Antriebsstrangkomponenten. Nach derzeitigem Stand werden, um die wichtigsten zu nennen, auch der Einfluss der lastabhängigen Batteriespannung auf den DC/DC-Wandler und/oder den Umrichter sowie der Einfluss der Oberschwingungen von Strom und Spannung der E-Maschine auf ihre Verluste berücksichtigt.

Über die Berechnung von Fahrzyklen hinaus können mithilfe der thermischen Modelle Dauerleistungskennlinen für den Antrieb bestimmt und Kennfelder für den gesamten Antriebsstrang (siehe Abb. 2) erstellt werden.

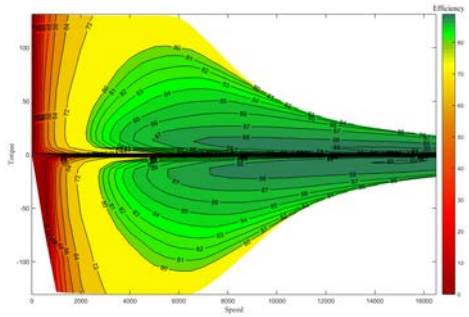


Abb. 2: Wirkungsgradkennfeld eines Beispielsystems aus E-Maschine (IM), Umrichter und Batterie

Fig. 2: Efficiency map of a sample system consisting of electric motor (IM), converter and battery

Kontakt:

M.Sc. Hannes Heseding, Dipl.-Ing. Felix Müller-Deile
☎ +49 (0) 511 / 762 - 3778, +49 (0) 511 / 762 - 2510
✉ hannes.heseding@ial.uni-hannover.de
✉ felix.mueller.deile@ial.uni-hannover.de

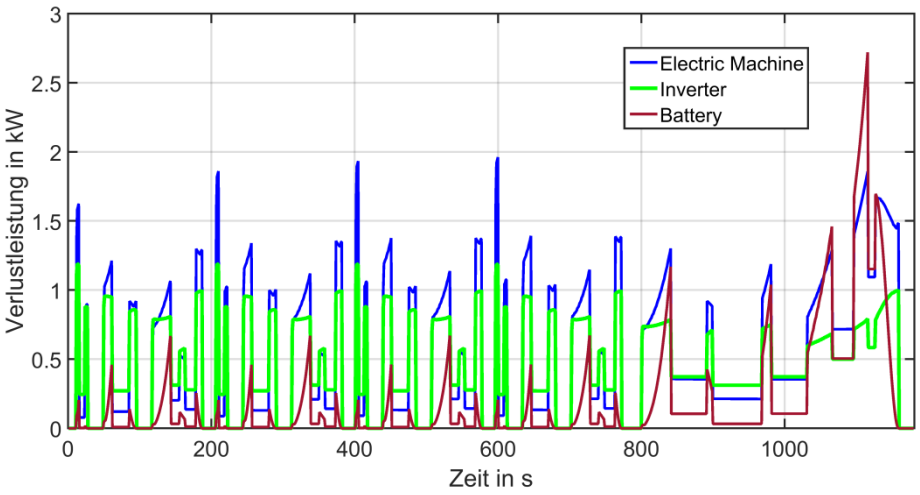


Abb. 3: Verlustleistung der Antriebsstrangkomponenten im NEFZ-Fahrzyklus für einen gegebenen Antriebsstrang

Fig. 3: Losses of the power train components during the NEFZ driving cycle for a given power train

Besondere Aktivitäten am IAL

Special Activities at IAL

GeCoLab – Universalprüfstand

GeCoLab – Universal test bench

GeCoLab - Prüfstand für Generator-Umrichter-Systeme

von Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

Es ist vollbracht! In den letzten beiden Jahren wurde aus der Planung Realität, und unser neuer Großprüfstand ist nahezu fertiggestellt. Während 2013 das Gebäude entstand, wurden 2014 die technische Infrastruktur des Gebäudes und die elektrischen Komponenten gefertigt. Ende 2014 erfolgte die Anlieferung der Leistungselektronik, der Transformatoren und der Energieverteilung. Damit war die Halle weitgehend gefüllt, und die Montage konnte im Januar 2015 beginnen. Alles kam an (und passte in) den vorgesehenen Platz. Als letztes kamen im Frühsommer 2015 die elektrischen Maschinen. Zeitgleich mit dem Eintritt von Herrn Bergte als Prüfstandsleiter in das IAL konnte im Juni 2015 schrittweise mit der Inbetriebnahme begonnen werden. Schließlich wurden im Herbst 2015 die ersten Inbetriebnahmeversuche im Leistungsbetrieb erfolgreich absolviert. Im Folgenden eine Fotostrecke vom Baufortschritt sowie die technischen Daten.

Abb. 1: 06/13 Richtfest
Fig. 1: 06/13 Topping out

Abb. 3: 01/14 Einbringen der Spannfeldelemente
Fig. 3: 01/14 Insertion of span elements

GeCoLab Test Bench for Generator-Converter Systems

by Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

It is done! In the last two years, our vision turned into reality: IAL's new large-scale test bench is almost completed. After the construction phase in 2013, technical infrastructure and electrical components were supplied in 2014. Power electronics, transformers and power distribution followed by the end of 2014. With the hall nearly filled to capacity, the installation phase started in January 2015. Everything arrived in time and fitted into place. The last items – the electrical machines – arrived in early summer 2015. When Tim Bergte joined the IAL as our test bench supervisor, we could start off with the commissioning step by step. Finally, first start-up tests under power were successfully made in autumn 2015. The photo series shows the construction progress, followed by the technical data.

Abb. 2: 10/13 Einbau 20-t-Hallenkran
Fig. 2: 10/13 Installation of 20 t hall crane

Abb. 4: 05/14 Bau der Rückkühlung
Fig. 4: 05/14 Installation of heat exchanger

Abb. 5: 07/14 Einbau der Installationsebene
Fig. 5: 07/14 Erection of installation platform

Abb. 7: 01/15 Einbringen der elektr. Ausrüstung
Fig. 7: 01/15 Integration of electrical equipment

Abb. 6: 06/14 Beraterkreissitzung
Fig. 6: 06/14 Meeting of Technical Advisory Board

Abb. 8: 02/15 Montage der elektr. Ausrüstung
Fig. 8: 02/15 Installation of electrical equipment

Abb. 9: 09/15 Montierter Prüfstand

Fig. 9: 09/15 Installed test bench

GeCoLab – Technische Daten

Universalprüfstand zur Untersuchung stationärer und dynamischer Eigenschaften elektrischer Maschinen und Umrichter inklusive der Umrichter-Maschine-Wechselwirkungen

Ausstattungskenndaten

- Bemessungsspannung bis zu 690 V
- Permanenterregte Synchronmaschine mit zugehörigem Vollumrichter

  [P_N = 1,2 MW, n_N = 375 1/min (0 - 750 1/min)]
- Doppeltgespeiste Asynchronmaschine mit zugehörigem rotorseitigem Umrichter

  [P_N = 2,08 MW, n_N = 1780 1/min]
- Umrichterbasierte Netznachbildung

  [S_N = 4,4 MVA; Spannungsunsymmetrie, Frequenz und Harmonische frei einstellbar]
- maximales Komponentengewicht 20 t
- Spannfeldgrundfläche 10 m x 4,3 m

Untersuchungen

- stationäre und transiente Betriebszustände (η, P_V, M, U, I, ESB, ...)
- Erwärmungen und Verlustverteilung
- Diagnoseverfahren

an elektrischen Maschinen:

- Induktionsverteilung, Wicklungskopffelder
- Stromverdrängung, Schlingströme
- Zusatzverluste durch Oberschwingungen
- Wicklungsfehler und deren Diagnose
- Toleranzauswirkungen (Exzentrizität, …)
- Verhalten am Netz, FRT
- unsymmetrische Belastung

  Kurzschluss und Stoßkurzschluss (2- oder 3-phasig mit oder ohne Sternpunktverbindung)

an Leistungselektronik (Umrichter, Filter):

- motorseitiger Umrichter:

  Regelung mit Anregelzeit, Sollwertsprünge
- Rampen, Lastsprünge, Reversieren etc.)

GeCoLab – Technical Data

Universal test bench to investigate steady-state and dynamic properties of electrical machines and converters including converter/machine interactions

Equipment parameters

- rated voltage up to 690 V
- permanent magnet synchronous machine with full converter

  [P_N = 1.2 MW, n_N = 375 rpm (0 - 750 rpm)]
- doubly-fed induction machine with rotor-side converter

  [P_N = 2.08 MW, n_N = 1,780 rpm]
- converter-based grid model

  [S_N = 4.4 MVA; voltage unbalance, freely adjustable frequency and harmonics]
- maximum component weight 20 t
- base area of span 10 m x 4.3 m

Tests

- steady-state and transient operating conditions (η, P_V, M, U, I, ECD, ...)
- temperature rise and loss distribution
- diagnostic methods

on electrical machines:

- flux distribution, end-winding fields
- current displacement, circulating currents
- additional losses through harmonics
- winding defects and their diagnosis
- tolerance effects (eccentricity, …)
- grid behaviour, FRT
- unbalanced loads

  short circuits and sudden short circuits (2- or 3-phase with or without star point connection)

on power electronics (converter, filter):

- motor-side converter:

  control with rise time, setpoint changes
- ramps, load steps, reversing, etc.)

- grid-side converter:
  voltage quality, line disturbances, control
- control quality
- harmonics (generation and impacts)
- modulation methods,
  low output frequencies down to zero

- netzseitiger Umrichter:
  Spannungsqualität, Netzfehler, Regelung
- Regelungsqualität
- Oberschwingungen (Erzeugung und Auswirkungen)
- Modulationsverfahren,
  kleine Ausgangsfrequenzen bis Null

Test bench capacity (from Jan. 2016)

- operation of prototypes or test machines and test converters
- testing of customer machines and converters

Prüfstandkapazitäten (ab Januar 2016)

- Betrieb von Prototypen bzw. Versuchsmaschinen und -umrichtern
- Test von Kundenmaschinen und Kundenumrichtern

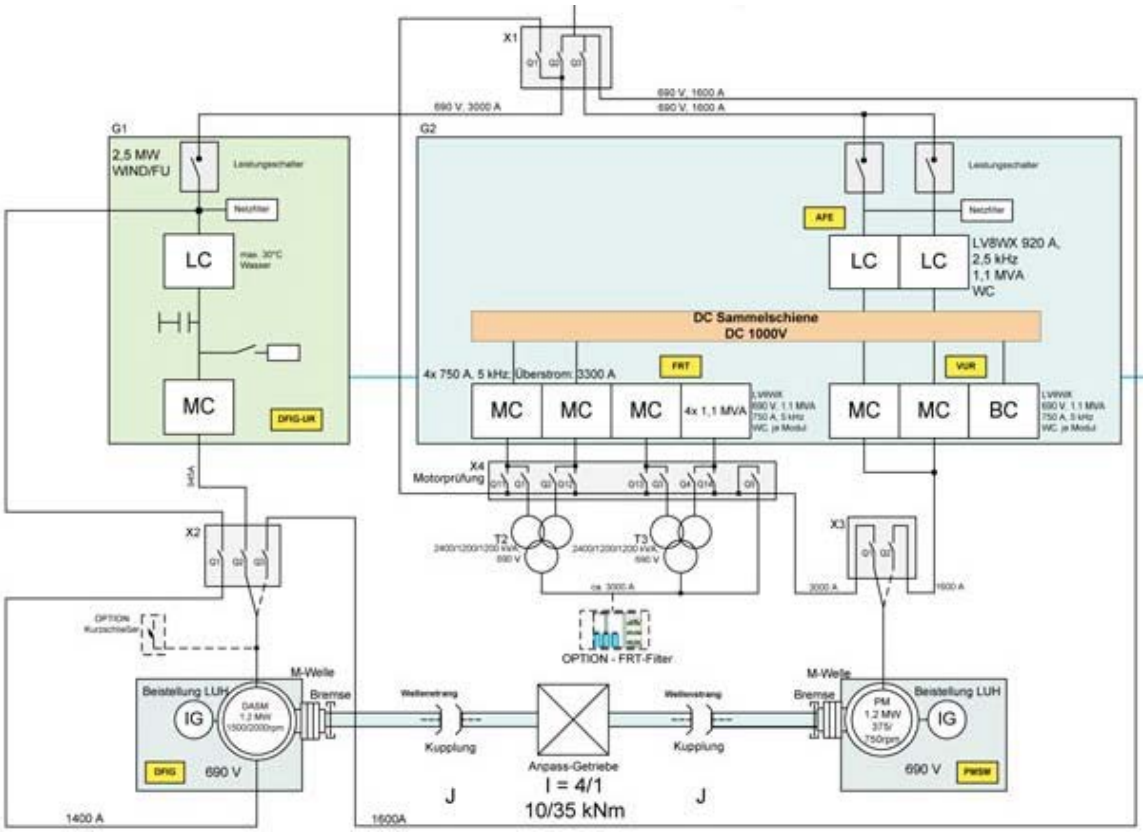
Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kontakt:

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



Systemschaltbild des GeCoLab GeCoLab system diagram

Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)

von Dr.-Ing. Volker Schöber

In 2014 wurde die Leibniz Forschungsinitiative Energie 2050 zu einem Leibniz Forschungszentrum erhoben und hat damit die zweite von drei Stufen auf der Skala für koordinierte Forschungsaktivitäten der LUH erreicht. Das neue Zentrum trägt den Namen **„Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)“** und hat heute 23 Fachgebietsleiter als Mitglieder (siehe Website). Mit LiFE 2050 erfolgte eine Fokussierung auf fünf Forschungslinien: Solarenergie, Windenergie, Thermische Kraftwerke, Stromnetze und Elektromobilität. Die Forschungsaktivitäten in diesen Linien werden in LiFE 2050 abgestimmt, und es werden gemeinsam Projekte der Verbundforschung akquiriert. Prof. Mertens wurde als Sprecher eines fünfköpfigen Vorstands gewählt.

LiFE 2050 fungiert auch als Schnittstelle zum Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN). Mit dem neuen Kooperationsvertrag von 2015 ist das EFZN nun ein gemeinsames wissenschaftliches Zentrum der TU Braunschweig, TU Clausthal, Uni Göttingen, Uni Hannover und der Uni Oldenburg.

Neben der Forschungskoordination werden auch Lehrveranstaltungen aus LiFE 2050 heraus durchgeführt. Beispiele sind die etablierte Ringvorlesung „Transformation des Energiesystems“ im Sommersemester sowie das ISFH-Kolloquium. Organisatorisch unterstützt wurden daneben Vernetzungsaktivitäten wie die „*International Wind Engineering Conference* (IWEC)“, die EFZN Summer School, die NFF-Reihe „*Kluge Köpfe denken heute schon an übermorgen*“, die Tagung „*Energiewende und Industrie",* oder die Niedersächsischen Energietage (NET, in Kooperation mit dem EFZN).

Kern von LiFE 2050 sind gemeinsame Verbundprojekte. Einige Beispiele seien genannt.

AMSES: Mit der Reduzierung der Anzahl thermischer Kraftwerke verringert sich auch der stabilisierende Einfluss rotierender Massen im Stromnetz. Das in 2015 gestartete Projekt „Aggregierte Modelle für die Simulation von dynamischen Vorgängen in elektromechanischen Energiesystemen (AMSES)“ strebt an, wissenschaftliche Grundlagen zum Verständnis von Effekten und Wechselwirkungen zu schaffen, die aus der Interaktion einzelner Komponenten in einem komplexen Energiesystem entstehen können. Mit AMSES werden Erkenntnisse und

Leibniz Research Centre Energy 2050 (LiFE 2050)

by Dr.-Ing. Volker Schöber

In 2014, the Leibniz Research Initiative Energy 2050 was evaluated as Leibniz Research Centre and reached the second of three stages on the scale of coordinated research activities of the LUH. The new **“Leibniz Research Centre Energy 2050 (LiFE 2050)“** is currently supported by members of 23 departments (see web page). The focus of LiFE 2050 is on five research lines: solar energy, wind energy, thermal power plants, electric grids and electromobility. The research lines’ activities are coordinated by LiFE 2050 with the aim to acquire joint research projects. Prof. Mertens is Elected Speaker of the five-member Executive Board.

LiFE 2050 also serves as the interface to the Energy Research Centre of Lower Saxony (EFZN). According to the new cooperation contract of 2015, the EFZN is now a joint scientific centre of TU Braunschweig, TU Clausthal, Uni Göttingen, Uni Hannover and Uni Oldenburg.

Besides the coordination of research activities, LiFE 2050 also organizes lectures, such as the well-established lecture series “Transformation of the Energy System“ held in summer term and the ISFH colloquium. Moreover, network activities were supported, like the “*International Wind Engineering Conference* (IWEC)“, the EFZN Summer School, the NFF series „*Kluge Köpfe denken heute schon an übermorgen*“, the symposium „*Energiewende und Industrie",* or the Lower Saxon Energy Days (NET, in cooperation with the EFZN).

Joint projects are the main issue of LiFE 2050. Here are some examples:

AMSES: The reduced number of thermal power plants also reduces the stabilizing effect of rotating masses in the electric grid. The aim of the project “Aggregate Models for Simulating Dynamic Processes in Electromechanical Energy Systems (AMSES)“, launched in 2015, is to provide the scientific basis for understanding the effects and interactions which can arise from the interaction of individual components in a complex energy system. AMSES provides the knowledge and fundamentals for a new research area. Five institutes, mainly from the electrical engineering discipline, are involved.

NEDS: The project “Sustainable Energy Supply Lower Saxony“ deals with the multi-criteria analysis of sustainability criteria to identify possible development paths of the future power grid in Lower Saxony. NEDS as well as AMSES are funded by the Ministry of Science and Culture of Lower Saxony and coordinated by Prof. Hofmann, Institute of Electric Power Systems. Research project partners are Leibniz Universität Hannover, TU Braunschweig, Uni Oldenburg and OFFIS.

InnWind.eu: Under the title “Innovative Wind Conversion Systems (10-20 MW) for Offshore Applications“, an EU consortium does research on the design of wind turbines with a power of up to 20 MW. Participants from Hannover are Prof. Mertens, Prof. Ponick, Prof. Rolfes and Prof. Schaumann.

MIKRO: The project “Origins and Impacts of Micro Cracks on the Long-Term Stability of PV Modules“ analyzes micro cracks in PV modules reducing the performance, with the aim to predict power losses (BMBF, Prof. Brendel, Prof. Rolfes).

MOBIL4e: The project “University offensive eMobility for further education: Experiencing, living and learning e-mobility!“ develops a modular and cross-university training and education program for academics in the field of electromobility.

CRC 871: The CRC 871 “Regeneration of Complex Capital Goods“ provides the scientific basis for the regeneration of complex capital goods with the aim to maintain or regenerate as many components as possible and in such a way that the functional characteristics of the capital goods are restored or even improved.

Abb.1: Prof. Brendel vom ISFH und Prof. Oehlschlaeger von VW Nutzfahrzeuge auf dem Wirtschaftsempfang 2015 der Leibniz Universität

Fig. 1 Prof. Brendel of ISFH and Prof. Oehlschlaeger of VW Nutzfahrzeuge on the Business Reception 2015 of Leibniz Universität

Grundlagen für einen neuen Forschungsschwerpunkt geschaffen. Beteiligt sind fünf Institute, überwiegend aus der Elektrotechnik.

NEDS: Mit „Nachhaltige Energieversorgung Niedersachsen“ ist ein Projekt gestartet, um über eine multikriterielle Analyse von Nachhaltigkeitskriterien mögliche Entwicklungspfade des zukünftigen Stromnetzes in Niedersachsen zu identifizieren. NEDS wird wie AMSES vom Nds. MWK gefördert und von Prof. Hofmann, Institut für Elektrische Energiesysteme koordiniert. Forschungspartner im Projekt sind neben der Leibniz Universität die TU Braunschweig, Uni Oldenburg und OFFIS.

InnWind.eu: Unter dem Titel „Innovative Wind Conversion Systems (10-20 MW) for Offshore Applications“ forscht ein EU-Konsortium an der Planung von Windenergieanlagen mit bis zu 20 MW. Aus Hannover sind Prof. Mertens, Prof. Ponick, Prof. Rolfes und Prof. Schaumann beteiligt.

MIKRO: Mit dem Projekt „Mikrorisse - Ursachen und Folgen für die Langzeitstabilität von PV-Modulen“ werden Mikrorisse in PV-Modulen analysiert, die eine Degradation der Leistungsfähigkeit verursachen können, um Vorhersagen für Leistungsverluste zu ermöglichen (BMBF, Prof. Brendel, Prof. Rolfes).

MOBIL4e: Mit dem Projekt „Hochschuloffensive eMobilität für die Fort- und Weiterbildung – Mobilität elektrisch erleben, erfahren, erlernen!“ wird ein hochschulübergreifendes modulares Fort- und Weiterbildungsangebot zu den Themenfeldern der Elektromobilität für akademisch Qualifizierte geschaffen.

SFB 871: Der SFB 871 „Regeneration komplexer Investitionsgüter“ strebt an, wissenschaftliche Grundlagen für die Instandsetzung komplexer Investitionsgüter mit dem Ziel zu erarbeiten, möglichst viele Komponenten des betreffenden Gesamtsystems so zu erhalten oder aufzuarbeiten, dass die funktionalen Eigenschaften des Investitionsguts wiederhergestellt und wo möglich sogar verbessert werden.

LiFE 2050 Leibniz Forschungszentrum Energie 2050

Kontakt:

Dr.-Ing. Volker Schöber
☎ +49 (0) 511 / 762 - 4230
✉ volker.schoeber@energie.uni-hannover.de
www.energie.uni-hannover.de

FEMAG – Alles neu?

von Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

Die letzten zwei Jahre standen einerseits im Zeichen einschneidender Veränderungen, andererseits aber auch im Zeichen der Kontinuität. Unerwartet und mit großer Betroffenheit erfuhren wir Ende 2014 von der schweren Erkrankung von Prof. Dr.-Ing. habil. Konrad Reichert. Bis zuletzt blieb er unermüdlich in der Entwicklung von FEMAG tätig und gab nach dem Anwendertreffen im Oktober 2014 sogar noch im Dezember 2014 ein VDE-Seminar. Am 15. Januar 2015 verlor die Fachwelt mit Professor Reichert einen herausragenden Lehrer und einen außergewöhnlichen Menschen. Konrad Reichert handelte absolut unkompliziert, motivierend und zielstrebig. Er war ein wesensguter Mensch und stets selbstlos und verlässlich im Umgang. Sein fachliches Erbe, insbesondere das von ihm geschaffene Softwarepaket FEMAG, werden wir mit Respekt und Dankbarkeit weiterentwickeln.

An dieser Stelle wurde immer von den Neuigkeiten in FEMAG berichtet. Hier ist zunächst zu nennen, dass Mitte 2014 von Prof. Konrad Reichert die ProFEMAG AG gegründet wurde, um für die Weiterentwicklung von FEMAG ein klare Struktur zu schaffen. Unter Leitung seines Soh-

FEMAG – All New?

by Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

The last two years were characterized by radical changes, but also by continuity. End of 2014, we had to learn about the severe illness of Prof. Dr.-Ing. habil. Konrad Reichert. Despite his illness, he did not stop his work on FEMAG. After the user meeting in October 2014, he even held a VDE seminar in December 2014. On 15th of January 2015, the experts lost with Professor Reichert an excellent teacher and an extraordinary, altruistic and reliable person, always acting in an uncomplicated, motivating and determined way. With respect and gratitude, we will continue developing his professional heritage, in particular the FEMAG software program invented by him.

Here are some novelties around FEMAG: In the middle of 2014, Prof. Konrad Reichert founded ProFEMAG AG with the aim to give FEMAG's further development a clear structure. The work on the DC, AC, ME and TH modules is coordinated under the direction of his son, Mr. Jerg Reichert, and with the continued contribution of the IAL. The company foundation went along with an adaption of the licensing model, a revision of the website and a restructuring of the software support. As before, FEMAG stays a tool that is tailored to solve problems in the field of electrical machinery effectively and to support an intensive exchange of expertise among the users. Last but not least, FEMAG's unbroken popularity is reflected by the number of participants attending the user meetings organized by the IAL in 2014 and 2015, each with more than 130 participants (Fig. 1 and 2).

Abb.1: Anwendertreffen 2014 in Hannover

Fig. 1: User meeting 2014 in Hannover

Abb.2: Teilnehmer des Anwendertreffens 2015 in Leutkirch

Fig. 2: Participants attending the user meeting 2015 in Leutkirch

In the last few months, the focus was on completing the ME and TH modules developed for calculating structural mechanics and thermal field problems as well as on eliminating weak points. In this respect, the release of version 8.0 in July 2015 meant a big step forward. It introduced automated program tests as well as a safe process to eliminate errors, ensuring that program changes do not lead elsewhere to undesired program behaviour.

New Year's special will be FEMAG version 8.1, featuring among others comprehensive enhancements of the script language, including the integration of the ME and TH modules.

nes Jerg Reichert werden die Arbeiten an den Modulen DC, AC, ME und TH koordiniert, zu denen auch das IAL nach wie vor beiträgt. Zwangsläufig wurde mit der Firmengründung das Lizenzmodell angepasst, die Homepage überarbeitet und der Softwaresupport neu strukturiert. Unverändert zeichnet sich FEMAG durch seinen Zuschnitt auf eine effektive Lösung von Fragestellungen des Elektromaschinenbaus bei gleichzeitig fachlich intensivem Austausch mit den Anwendern aus. Den ungebrochen starken Zuspruch zeigen auch die Teilnehmerzahlen der vom IAL organisierten Anwendertreffen 2014 und 2015 mit jeweils über 130 Personen (Abb. 1 und 2).

In den letzten Monaten wurde vorrangig die Vervollständigung der Module ME und TH zur Berechnung strukturmechanischer und thermischer Feldprobleme sowie die Beseitigung von Schwachstellen betrieben. Mit der Version 8.0 von Juli 2015 wurde dazu ein großer Schritt erreicht. Es wurden ein sicherer Prozess zur Beseitigung von Fehlern und automatisierte Programmtests eingeführt, die sicherstellen, dass Änderungen im Programm nicht an anderen Stellen zu ungewolltem Programmverhalten führen.

Zum Jahreswechsel 2015/16 wird die FEMAG-Version 8.1 zur Verfügung stehen, in der u.a. umfangreiche Erweiterungen in der Script-Sprache inklusive der Anbindung von ME und TH umgesetzt sein werden.

Kontakt:

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

HorsePower Hannover

von M.Sc. Dennis Bresemann

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 abgeschlossene Saison gebaute eH15 ist bereits der fünfte rein elektrische Rennwagen. Mit dem eH15 hat das Team das Konzept des Vorjahres weiter verfolgt und den zweiten allradbetriebenen Rennwagen entwickelt und gefertigt.

Abb. 1: eH15 – der neue Rennwagen dieser Saison
Fig. 1: eH15 – this year's racing car

Bei der *Formula Student* geht es nicht nur um die beste Technik und die schnellsten Rundenzeiten, die in den dynamischen Disziplinen gemessen werden, sondern auch um die sogenannten sta-

HorsePower Hannover

by M.Sc. Dennis Bresemann

In 2007, HorsePower Hannover e.V. was formed as the *Formula Student* team of Leibniz Universität Hannover, which is supported by IAL to a significant extent. At present, about 45 electrical and mechanical engineering students as well as mechatronics and economics students are actively participating in the project. The goal of the international and interdisciplinary design challenge is the design of a true racing car that is built by the participating students within a year's time. Fund raising is another major challenge of the 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.

The 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 coaching 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 eH15 is already the fifth all-electric racing car designed by the HorsePower team. With the eH15, the team continued the concept of the preceding year and developed and constructed the second four-wheel driven racing car.

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 have to be listed up in the so-called cost report, and the decisions made throughout the design phase have to be presented in the engineering design report.

This year, the team had to face many problems, because part of the battery had been irreversibly damaged during the preparation phase for the event in Silverstone. For this reason, the team could not participate in the race.

At the second event of the year, the *Formula Student Spain*, the car was ready to start.

During the first laps, HorsePower was very strong and among the first ranks. Unfortunately, the team could not finish the race due to a technical fault.

The team also participated in the *Formula Student Czech* which took place for the first time. After the race bolide had been repaired successfully, the team was ready again at the start-finish straight to take part in the acceleration event. The result: With 3.63 seconds over 75 metres new team record and first place. But euphoria vanished quickly, because the team had to withdraw from the qualifying due to a technical fault. Burning the midnight oil, the team's attempts to repair the car seemed first to be successful. In the end, repair work could not be finished in time, so that the team missed the final race.

For the year 2016, the working on a new electric racing car is going full speed. Based on this year's experiences, the new racing car will be further improved and apart from that follow the approved concept.

Abb. 2: HorsePower-Team auf der Hannover-Messe 2015

Fig. 2: HorsePower team on Hannover fair 2015

tischen 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.

Das Team hatte in dieser Saison viele Herausforderungen zu bewältigen, da in der Vorbereitung auf das Event in Silverstone ein Teil der Batterie irreparabel beschädigt wurde. Aus diesem Grund konnte das Team am eigentlichen Rennen in Silverstone nicht teilnehmen.

Zum zweiten Event der Saison, der *Formula Student Spain*, war das Fahrzeug jedoch fahrbereit, und das Team durfte mit seinem Boliden an den Start gehen. In den ersten Runden zeigte HorsePower sich sehr stark und kämpfte um die vorderen Plätze mit. Durch einen technischen Defekt konnte das Team das Rennen jedoch nicht beenden.

Erstmalig nahm das Team auch an der *Formula Student Czech* teil, die in diesem Jahr zum ersten Mal ausgerichtet wurde. Nachdem die Reparatur des Rennboliden beendet war, stand das Team abermals an der Start-Ziel-Geraden zum Beschleunigungsrennen bereit – und überzeugte: Mit 3,63 Sekunden für 75 Meter ein neuer Vereinsrekord und Platz 1 im Beschleunigungsrennen. Die Euphorie wurde jedoch schnell getrübt, nachdem das Team erneut durch einen technischen Defekt im Qualifikationsrennen ausschied. Die arbeitsreiche Nachtschicht, in der versucht wurde, das Auto wieder fahrbereit zu bekommen, verlief zunächst erfolgsversprechend. Am Ende konnte das Team die Reparaturen jedoch nicht rechtzeitig beenden und verpasste das finale Rennen.

Die neue Saison 2016 hat bereits begonnen, und die Planung und Konstruktion des neuen Elektrorennwagens laufen auf Hochtouren. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus dieser Saison wird der neue Rennwagen dasselbe Konzept verfolgen und weiter verbessert.

Kontakt:

M.Sc. Dennis Bresemann
☎ +49 (0) 511 / 762 - 2391
✉ dennis.bresemann@ial.uni-hannover.de

Neuigkeiten bei der Protolar GmbH – Prototyping-Spin-Off des IAL erweitert sein Angebot

von Dr.-Ing. Lennart Baruschka

Seit mittlerweile vier Jahren ergänzt die Protolar GmbH das Angebot des IAL um Entwicklungsdienstleistungen im Bereich Leistungselektronik. Das Geschäftsfeld schließt Beratung, Schaltungs- und Layoutdesign, Firmwareentwicklung sowie den elektrischen Test der Prototypen ein. Der Leistungsbereich liegt hierbei zwischen ca. 1 kW und 1 MW. Mehrere erfolgreich abgeschlossene Projekte bestätigen den Bedarf in diesem Umfeld.

Ein Beispiel ist der Aufbau einer Schwungradansteuerung. Für dieses Projekt übernahm die Protolar GmbH die Planung des Schaltschranks (Abb. 1), die Erstellung der Stromlaufpläne sowie den Aufbau und leistete Unterstützung bei der Inbetriebnahme. Für den einphasigen Lastausgang kam ein eigens entwickelter Wechselrichter zum Einsatz. Das gesamte Projekt konnte innerhalb von weniger als drei Monaten zum Abschluss gebracht werden.

Abb.1: Schaltschrank zur Schwungradansteuerung
Fig. 1: Control cabinet for flywheel control

Novelties at Protolar GmbH – IAL's Prototyping Spin-Off Expands Product Range

by Dr.-Ing. Lennart Baruschka

For four years now, Protolar GmbH has been enhancing IAL's portfolio by development services in the field of power electronics, including consulting, circuit and layout design, firmware development as well as electrical testing of the prototypes in the power range of approx. 1 kW to 1 MW. Various successfully completed projects are confirming the demand in this business area.

One example is the installation of a flywheel control system. In this project, Protolar GmbH was in charge of planning the control cabinet (Fig. 1), creating the electrical circuit diagrams, installing the control system and giving support during the start-up phase. A customized inverter was specifically developed for the single-phase load output. The whole project could be terminated after less than three months.

To manage new research and development projects even faster, Protolar GmbH is currently launching several new products. On the one hand, the well-tried "FPGA.Comm" is enhanced by flexible retrofit I/O modules. FPGA.Comm is an enhancement module for dSpace® development systems, enhancing an existing dSpace® system by up to 80 flexibly programmable digital I/Os. This way, tasks such as the variation of pulse and control frequencies during operation or the connection of additional sensors and actuators can be realized.

Easy-to-use isolating A/D and D/A converters enhance the FPGA.Comm's new I/O modules. An optical fiber interface is also available, for example for controlling high-voltage IGBTs or isolating the aforementioned sensors also at voltages in the kV range.

New control algorithms for smaller drives or grid coupling applications can be developed by a flexibly usable IGBT inverter module.

At the beginning of 2016, the portfolio will be further enhanced by a high-performance control processor. During the development of the Protolar ControlCube (Fig. 2), the focus was especially on modularity and easy expandability. A software program for real-time visua-

lization of measurement and control data makes the processor a full-fledged development system.

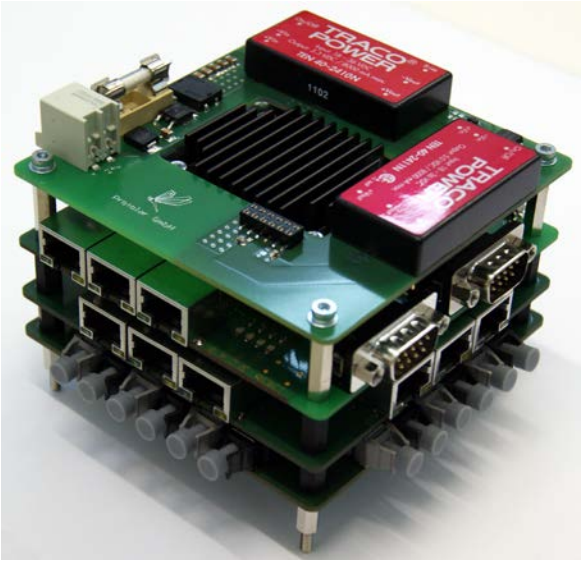


Abb. 2: Flexibler Steuerungsrechner: Der ControlCube

Fig. 2: Flexible control processor: the ControlCube

Besides, Protolar GmbH continues to give support on implementing special measuring and control tasks.

For further information, please refer to www.protolar.de or send an e-mail to info@protolar.de.

Zum noch schnelleren Gelingen neuer Forschungs- und Entwicklungsprojekte bringt die Protolar GmbH derzeit mehrere neue Produkte auf den Markt. Zum Einen ergänzt sie ihr bewährtes „FPGA.Comm“ um flexibel nachrüstbare I/O-Module. Das FPGA.Comm ist ein Erweiterungsbaustein für dSpace®-Entwicklungssysteme, welcher ein bestehendes dSpace®-System um bis zu 80 flexibel programmierbare Digital-I/Os erweitert. Hierdurch lassen sich Aufgaben, wie im Betrieb veränderbare Takt- und Regelungsfrequenzen oder die Anbindung zusätzlicher Sensoren und Aktoren, realisieren.

Die neuen I/O-Module ergänzen das FPGA.Comm um einfach zu verwendende potentialtrennende A/D- sowie D/A-Wandler. Ebenfalls verfügbar ist ein Lichtwellenleiter-Interface zur Ansteuerung von z.B. Hochvolt-IGBTs oder der galvanischen Trennung der erwähnten Sensoren auch für Spannungen im kV-Bereich.

Ein flexibel einsetzbares IGBT-Wechselrichtermodul erlaubt die Entwicklung neuer Regelungsalgorithmen für kleine Antriebe oder Netzkopplungsanwendungen.

Weiterhin wird ab Anfang 2016 ein leistungsfähiger Steuerungsrechner das Portfolio erweitern. Bei der Entwicklung des Protolar ControlCube (Abb. 2) wurde besonderer Wert auf Modularität und einfache Erweiterbarkeit gelegt. Eine PC-Software zur Echtzeit-Visualisierung der Mess- und Regelungsdaten ergänzt den Rechner zu einem vollwertigen Entwicklungssystem.

Natürlich bietet die Protolar GmbH auch weiterhin Unterstützung bei der Umsetzung konkreter Mess- und Regelungsaufgaben an.

Weitere Informationen hierzu erhalten Sie unter www.protolar.de oder per Email unter info@protolar.de.

Protolar GmbH

Prototypen: Leistungselektronik | Ansteuerung | Regelung

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

In der Lehre des IAL gab es in den letzten zwei Jahren keine revolutionären, wohl aber evolutionäre Änderungen.

Prof. Ponick hat seine Vorlesung *Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung*, die inzwischen Pflichtveranstaltung für alle Drittsemester aus den Studiengängen Elektrotechnik, Mechatronik und Energietechnik ist, um einen Abschnitt ergänzt, der in die leistungselektronische Drehzahlstellung von Synchron- und Induktionsmaschinen einführt und damit zu den Vorlesungen von Prof. Mertens überleitet. In der Vorlesung *Berechnung elektrischer Maschinen* wurden Abschnitte ergänzt, die der gestiegenen Bedeutung von permanenterregten Synchronmaschinen und synchronen Reluktanzmaschinen Rechnung tragen. Die Veranstaltung *Elektrische Antriebssysteme* wurde insgesamt gründlich überarbeitet, und schließlich wurde die Vorlesung *Elektrische Klein-, Servo- und Fahrzeugantriebe* um Aspekte ergänzt, die zu einem Gutteil aus den Forschungsprojekten der letzten Jahre im Umfeld der Elektromobilität resultieren. Die letztgenannte Vorlesung wird zusätzlich von Frau Dr. Stübig in englischer Sprache für den Master-Studiengang *International Mechatronics* angeboten.

Bei den Lehrveranstaltungen von Prof. Mertens wurde insbesondere die Vorlesung *Elektrische Antriebe* für Mechatroniker und Maschinenbauer umgestaltet, mit dem Ziel, die inhaltliche Doppelung mit dem Stoff der Vorlesung *Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung* zu vermeiden. Die Mechatroniker kommen nun in den Genuss, diesen Stoff direkt bei Herrn Ponick in der genannten Vorlesung zu hören, während die neu konzipierte Vorlesung *Elektrische Antriebe*, die nur noch 1 Semester umfasst, sich mehr auf das Antriebssystem konzentriert. Für die Vorlesung *Datenverarbeitungssysteme*, die vertretungsweise vom IRT übernommen wurde, konnte ebenfalls eine Lösung mit einem passenderen Lehrstuhl gefunden werden, so dass das Lehrangebot des FG Leistungselektronik nun auf die eigenen Kernthemen gestrafft ist.

Lectures

During the last two years, we made no revolutionary, but nonetheless evolutionary adjustments to our curriculum.

Prof. Ponick enhanced his lecture *Basics of Electromagnetical Power Conversion*, meanwhile a required lecture for all third-term electrical engineering, mechatronic and power engineering students, by a section introducing into power electronic speed control of synchronous and induction machines and leading over to the lectures of Prof. Mertens. Considering the increased importance of permanent magnet synchronous machines and synchronous reluctance machines, some adjustments were made to the lecture *Theory of Electrical Machines.* The lecture *Electrical Drive Systems* was restructured completely, and last but not least, the lecture *Small Electrical Motors, Servo and Vehicle Drives* was enhanced by aspects mainly resulting from research projects in the field of electromobility dealt with in the last few years. The last-mentioned lecture is also held by Dr. Stübig in English language, offered in the Master course *International Mechatronics*.

Considering the lectures of Prof. Mertens, especially the lecture *Electric Drives* was redesigned for mechatronics and mechanical engineering students to avoid the overlap in contents with the lecture *Basics of Electromagnetical Power Conversion*. Mechatronic students can now study the subject by directly attending the aforementioned lecture of Prof. Ponick. In contrast, the redesigned lecture *Electric Drives*, by now lasting for one term only, focuses more on the drive system. The lecture *Data Processing Systems*, held for the IRT on an interim basis, will be continued by another more suitable chair, so that the curriculum of the Power Electronics Chair is now entirely focused on its own core topics.

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 (Dr. Kranz)
- Power plant technologies (Prof. Scharf)
- Technical combustion (Prof. Dinkelacker)
- Thermodynamics (Prof. Kabelac)
- Turbomachinery (Prof. Seume)
- Electrical machines (Prof. Ponick)
- Power electronics (Prof. Mertens)
- Energy storage systems (Prof. Hanke-Rauschenbach)
- High-voltage engineering (Prof. Werle)
- 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 (Dr. Kranz)
- Kraftwerkstechnik (Prof. Scharf)
- Technische Verbrennung (Prof. Dinkelacker)
- Thermodynamik (Prof. Kabelac)
- Turbomaschinen (Prof. Seume)
- Elektrische Maschinen (Prof. Ponick)
- Leistungselektronik (Prof. Mertens)
- Energiespeichersysteme (Prof. Hanke-Rauschenbach)
- Hochspannungstechnik (Prof. Werle)
- Energieversorgung (Prof. Hofmann)
- Thermische Prozesse (Prof. Nacke)
- Ressourcenschonende Energienutzung (Prof. Baake)

Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung

(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: Entstehung und Überlagerung der Wechselfelder der einzelnen Stränge, Ermittlung der zugehörigen Reaktanzen, Einführung der Oberwellenstreuung, 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, Stromverdrängungsläufer, Ausblick auf polumschaltbare Motoren, Anlasshilfen, Wicklungserwärmung beim Anlauf sowie Einphasen-Motoren.

Einführung in die Drehzahlstellung von Induktions- und Synchronmaschinen mittels Frequenzumrichtern.

Basics of Electromagnetical Power Conversion

(3rd term), V2, U2

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

Contents

Types of electromagnetic power converters, overview of different types and 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, segment-to-segment voltage.

Generalized theory of polyphase machines: development and superimposition of alternating fields of the single phases, determination of the corresponding reactances, 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, deep-bar cage motors, prospects of pole-changing motors, starting methods, temperature rise in the windings during start-up and single-phase motors.

Introduction to speed control of induction and synchronous machines via frequency converters.

Electric Drives

(4th term), V2, U1

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

Contents

The lecture offers an introduction into electric drives which, as a mechatronic system, consist of actuators, sensors, control electronics and power electronic control elements. Based on the electromagnetical actuators introduced in the lecture "Basics of Electromagnetical Power Conversion", knowledge of the design and different types of electric drives is provided for various fields of application. Different drive solutions are presented and their features are compared using specific examples, as they appear in practice. At the same time, a brief overview of the control of electric drives is given.

Elektrische Antriebe

(4. Semester), V2, Ü1

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

Inhalt

Der Kurs bietet eine Einführung in elektrische Antriebe, die als mechatronisches System aus Aktoren, Sensoren, einer Steuerungselektronik und leistungselektronischen Stellgliedern aufgebaut sind. Basierend auf den elektromagnetischen Aktoren aus dem Kurs „Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung", werden Kenntnisse über Aufbau und Varianten von elektrischen Antrieben für verschiedene Einsatzzwecke vermittelt. Anhand von praktischen Anwendungsbeispielen werden verschiedene Lösungen vorgestellt und ihre Eigenschaften miteinander verglichen. Dabei wird auch ein erster Überblick über die Regelung von elektrischen Antrieben gegeben.

Berechnung elektrischer Maschinen

(5. Semester), V2, Ü1

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

Inhalt

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

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, Zahnspulenwicklungen, Görges-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).

Verlustarten; zusätzliche Verluste durch Oberwellen.

Theory of Electrical Machines

(5th term), V2, U1

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

Contents

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

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).

Types of losses; additional losses caused by spatial harmonics.

Small Electrical Motors, Servo and Vehicle 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 materials.

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, commutation.

Single-phase induction motors: design, applications, winding types, designs (capacitor motor, resistance and auxiliary winding motor, split-pole motor), performance (generalized symmetrical components, permeance locus diagram), speed control.

Single-phase synchronous machines: design (stator with slots, distinct poles or claw poles), motors with permanent magnet, hysteresis and reluctance rotor.

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

Vehicle drives: claw-pole generators (bicycles, motor vehicles), traction motors (types, specific features, energy efficiency), auxiliary motors.

Elektrische Klein-, Servo- und Fahrzeugantriebe

(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, permanentmagnetische Werkstoffe.

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

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

Wechselstrom-Induktionsmotoren: Aufbau, Anwendungen, Wicklungsarten, Ausführungen (Kondensator-, Widerstandshilfsstrang-, Spaltpolmotor), Betriebsverhalten (verallgemeinerte Symmetrische Komponenten, Leitwertortskurve), Drehzahlstellung.

Wechselstrom-Synchronmaschinen: Aufbau (Ständer mit Nuten, ausgeprägten bzw. Klauen-Polen), Motoren mit Magnet-, Hysterese- und Reluktanzläufer.

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

Fahrzeugantriebe: Klauenpol-Generatoren (Fahrrad, Kfz), Fahrmotoren (Arten, Besonderheiten, Energieeffizienz), Hilfsantriebe.

Elektrische Klein- und Servoantriebe *)

(3. Semester im Masterstudiengang)

V2, Ü1

Vorlesung: Dr.-Ing. C. Stübig

Inhalt

Grundlagen elektrischer Maschinen (Gleichstrommaschine, Induktionsmaschine, Synchronmaschine).

Übersicht über elektrische Kleinmaschinen: Einsatzmöglichkeiten, selbst- und fremdgeführte Motoren, grundsätzliche Konstruktionsmöglichkeiten, permanentmagnetische Werkstoffe.

Permanenterregte Gleichstrommotoren: Anwendungen, Magnetwerkstoffe, Betriebsverhalten, Drehzahlstellung.

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

Wechselstrom-Induktionsmotoren: Aufbau, Anwendungen, Ausführungen (Kondensator-, Widerstandshilfsstrang-, Spaltpolmotor), Betriebsverhalten, Drehzahlstellung.

Wechselstrom-Synchronmaschinen: Motoren mit Magnet-, Hysterese- und Reluktanzläufer.

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

*) wird auf Englisch abgehalten

Small Electrical Motors and Servo Drives *)

(3rd term in master course)

V2, U1

Lecture: Dr.-Ing. C. Stübig

Contents

Basic principles of electrical machines (DC machine, induction machine and synchronous machine).

Overview over fractional horsepower drives: usage, overview of externally commutated and self-commutated motors, basic design concepts, permanent magnet materials.

Permanent magnet DC motors: applications, magnet materials, performance, speed control.

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

Single-phase induction motors: design, applications, designs (capacitor motor, resistance and auxiliary winding motor, split-pole motor), performance, speed control.

Single-phase synchronous machines: motors with permanent magnet, hysteresis and reluctance rotor.

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

*) held in English language

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, Phasenanschnitt-Steuerung)

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

Betriebsverhalten von Induktionsmaschinen unter Berücksichtigung des Ständerwicklungswiderstands.

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.

Drehzahlstellung bei Induktions- und Synchronmotoren: Erläuterung und Vergleich verschiedener Antriebssysteme bezüglich zusätzlicher Verluste, Erzeugung von Pendelmomenten und Kosten.

Erwärmung und Kühlung: Kühlarten, Betriebsarten, Anforderungen an die Energieeffizienz, Ermittlung der stationären und der transienten Wicklungserwärmung.

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; Diskussion der wichtigsten Ausgleichsvorgänge in Induktions- und Synchronmaschinen (Einschalten, symmetrische und unsymmetrische Klemmenkurzschlüsse, Spannungs-Wiederkehr, Netzumschaltung bzw. Fehlsynchronisation); Reaktanzen und Zeitkonstanten von Synchronmaschinen.

Electrical Drive Systems

(4th, 6th or 8th term), V2, U1

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

Contents

Performance of induction machines considering the stator winding resistance.

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.

Speed control in induction and synchronous machines: description and comparison of different types of drive systems with regard to additional losses, generation of pulsation torques and cost.

Temperature rise and cooling: cooling methods, operating modes, demands on energy efficiency, determination of steady-state and transient temperature rise in the windings.

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; discussion of the most important transient phenomena in induction and synchronous machines (starting, symmetrical and unsymmetrical short circuits, voltage recovery, transfer of bus-bar or 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; generation and avoidance of shaft voltages and bearing currents.

Investigation and evaluation of acoustic noise emissions.

Konstruktive Einzelheiten: Bauformen und Kühlungsarten, explosionsgeschützte Maschinen, gegenseitige Beeinflussung von Kupplungs- und Lagerungsarten; Entstehung und Vermeidung von Wellenspannungen und Lagerströmen.

Betrachtungen zur Geräuschentwicklung von Antriebssystemen 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 eingeprägter 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.

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.

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

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, Schaltentlastungen, 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 Energie-recht

(5. Semester), V2

Vorlesung: 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: 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 ungeregelten 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 (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 (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. G. Möller

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. G. Möller

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 Aktuatorsysteme, 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, Servo and Vehicle 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-, Servo- und Fahrzeugantriebe“

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 Inhaltpalette 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 Pulsumrichter
- Steuer- und Regelverfahren von Pulsumrichter mit Käfigläufer-Induktionsmotor
- Drehzahlvariabler Drehstrom-Asynchrongenerator mit Schleifringläufer
- Untersynchrone Stromrichterkaskade
- 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 Elektroprozesstechnik:
  - 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 Fluiddynamik
  - Untersuchungen am aeroakustischen Windkanal

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

Studentische Arbeiten 2014/2015

Students' Theses 2014/2015

Studienarbeiten

Short Theses

2014

Haase, Maximilian:

Aufbau der Steuerhardware einer elektrisch erregten Synchronmaschine
Setup of Control Hardware of an Electrically Excited Synchronous Machine

Huber, David:

Temperatursimulation und Betriebsstrategien für Plug-In Hybridfahrzeuge mit gemeinsamem Kühlkreislauf für Leistungselektronik, Elektro- und Verbrennungsmotor
Temperature Simulation and Operating Strategies for Plug-in Hybrid Vehicles with Common Cooling System for Power Electronics, Electric Motor and Combustion Motor

Lindemann, Georg:

Entwicklung einer echtzeitfähigen Schnittstelle zwischen der Regelung eines Servoantriebs und der Fahrstrategie-Regelung eines Elektrofahrzeugs
Development of a Real-time Interface between Servo Drive Control and Driving Strategy Control of an Electric Vehicle

Neumann, Birger:

Regelungs- und Stabilitätsuntersuchungen an Offshore-Windenergieanlagen zum Betrieb in Inselnetzen
Control and Stability Investigations in Offshore Wind Turbines for Islanding Operation

Pawelsz, Joachim von:

Untersuchung von Offline-Identifikationsverfahren an Asynchronmaschinen
Investigation of Offline Identification Methods in Induction Machines

Töberg, Stefan:

Untersuchung verschiedener Ansätze zur Erkennung und Unterscheidung von nieder- und hochohmigen Fehlern in Leistungshalbleitern
Investigation of Different Approaches for Identification and Distinction of Low- and High-resistance Errors in Power Semiconductors

2015

Bela, David:

Aufbau und Inbetriebnahme eines Prüfstands für Fahrzeugantriebe
Construction and Setup of a Test Bench for Vehicle Drives

Görsdorf, Julian:

Ermittlung der elektrischen Parameter einer Schenkelpolsynchronmaschine ohne Dämpferwicklung ausgehend von der Spannungsgleichung einer einzelnen Ständerspule
Identification of Electrical Parameters of a Salient-pole Synchronous Machine without Damper Winding Based on the Voltage Equation of a Single Stator Coil

Bachelorarbeiten

Bachelor Theses

2014

Awiszus, Maren:

Untersuchung einer Fault-Ride-Through-Regelung unter Berücksichtigung verschiedener Netzfehler
Analysis of a Fault Ride-Through Control Considering Various Network Errors

Fricke, Torben:

Einfluss von Material- und Fertigungstoleranzen in permanentmagneterregten Synchronmaschinen auf die Güte der geberlosen Regelung
Influence of Material and Production Tolerances in Permanent Magnet Synchronous Machines on the Accuracy of Self-Sensing Control

Heumann, Patrick:

Entwurf und Implementierung eines studentischen Laborversuchs einer permanentmagneterregten Synchronmaschine
Design and Implementation of a Student Laboratory Experiment on a Permanent Magnet Synchronous Machine

Krüger, Sebastian:

Dimensionierung und thermische Berechnung mehrsträngiger Induktionsmaschinen für Hybridfahrzeuge
Design and Thermal Calculation of Multi-phase Induction Machines for Hybrid Vehicles

Kühnel, Kornelius:

Leistungsskalierung eines elektrischen Traktionsantriebs durch den Einsatz eines DC/DC-Wandlers
Performance Scaling of an Electric Traction Drive via DC/DC Converter

Lewetzki, Phillip:

Analyse des dynamischen Verhaltens der Regelung eines netzseitigen Wechselrichters unter Berücksichtigung eines Netzsynchronisationsverfahrens
Dynamic Performance Analysis of a Grid-Side Inverter Control with Respect to the Grid Synchronisation Method

Matthies, David:

Analytische Berechnung der Stromverdrängung in Bruchlochwicklungen
Analytical Calculation of Current Displacement in Fractional Slot Windings

Meinhardt, Jonas:

Steigerung der Leistungsfähigkeit einer Lithium-Eisenphosphat-Batterie mit Hilfe von Flüssigkeitskühlung
Performance Enhancement of a LiFePO Battery with the Aid of Liquid Cooling

Nguyen, Manh Cuong:

Untersuchung des alterungsbedingten thermischen Verhaltens eines IGBT-Leistungsmoduls über eine FEM-Simulation
Investigation of Age-related Thermal Behaviour of an IGBT Power Module via FEM Simulation

Örnek, Bayram:

Untersuchung und Beurteilung verschiedener Konzepte für elektrische Maschinen in Windenergieanlagen
Investigation and Evaluation of Different Concepts of Electrical Machines in Wind Turbines

Timm, Florian:

Untersuchung eines Sektormotor-Konzepts für elektrische Fahrzeuge
Study on a Sector Motor Concept for Electric Vehicles

Vip, Stephan-Akash:

Automatisierte Erstellung magnetischer Ersatznetzwerke aus Finite-Elemente-Modellen für Synchronmaschinen
Automated Generation of Magnetic Equivalent Circuits from Finite Element Models of Synchronous Machines

2015

Aronska, Kateryna:

Untersuchung des Einflusses der Chipfläche von Si-IGBTs auf deren Verlustleistung
Investigation of Si IGBT Chip Surface Influence on their Power Loss

Bollenbach, Alexander:

Untersuchung typischer Rotorgeometrien von synchronen Reluktanzmaschinen
Investigation of Typical Rotor Geometries of Synchronous Reluctance Machines

England, Marc:

Integration der Leistungselektronik in ein luftgekühltes Antriebssystem mit Untersuchung neuartiger Halbleitertechnologien
Integration of Power Electronics in an Air-Cooled Drive System with Investigation of New Semiconductor Materials

Fotiadis, Christos:

Vergleich von permanentmagneterregten Synchronmaschinen mit unterschiedlichen Magnetwerkstoffen für die Anwendung als Traktionsantrieb im Elektrofahrzeug
Comparison of Permanent Magnet Synchronous Machines with Different Magnetic Materials Regarding the Application as Traction Drive for Electric Vehicles

Gottlieb, Philip:

Berechnung von Zusatzverlusten einer E-Maschine durch Umrichterspeisung im Fahrzyklus
Calculation of Inverter-caused Losses in an Electric Machine due to Inverter-Fed Operation

Henschel, Rasmus:

Analyse und Implementierung von unterbrechungsfreien Pitch-Systemen in ein Modell einer Windenergieanlage variabler Drehzahl
Analysis and Implementation of Uninterruptible Pitch Systems in a Model of a Variable-Speed Wind Turbine

Hovestadt, Lars:

Aufbau und Implementierung eines entkoppelten Leistungsreglers
Design and Implementation of a Decoupled Power Controller

Hundeshagen, Marco:

Modellierung und Analyse der aktuellen Bedarfsermittlung von Sekundär- und Minutenreserveleistung in Deutschland
Modeling and Analysis of the Current Determination of Demand for Secondary and Tertiary Power Reserve in Germany

Kießlich, Sebastian:

Berechnung der frequenzabhängigen Impedanz von E-Maschinen mithilfe eines FEM-Programms
Calculation of the Frequency-dependent Impedance of an Electric Machine with Finite Element Method

Kistner, Lukas:

Thermische Simulation und Auslegung eines Antriebssystems mit motorintegiertem Umrichter
Thermal Simulation and Design of a Drive System with Motor-Integrated Converter

Klapproth, Theresa:

Ausgestaltungsmöglichkeiten von Kapazitätsmechanismen am Strommarkt und beispielhafte Implementierung in ein Strommarktmodell
Configuration Possibilities of Capacity Mechanisms at Electric Power Markets and Exemplary Implementation into a Power Market Model

Koy, Robin:

Auslegung und Vergleich verschiedener Motortypen für ein Antriebssystem mit motorintegriertem Umrichter
Design and Comparison of Different Motor Types for a Drive System with Motor-Integrated Converter

Lindemann, Georg:

Untersuchung und Implementierung einer geberlosen Regelung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen auf einem FPGA
Examination and Implementation of Sensorless Control of Permanent Magnet Synchronous Machines Using an FPGA

Suhr, Henning:

Parametrisierung von transienten thermischen Modellen für permanentmagneterregte Synchronmaschinen
Parameterization of Transient Thermal Models for Permanent Magnet Synchronous Machines

Torwelle, Pascal:

Erkennung von Sensorfehlern in elektrischen Antriebssystemen auf Basis von Signalmodellen
Signal Model-based Sensor Fault Detection in Electrical Drive Systems

Tran Thi Bich, Ngoc:

Betrachtung der Pfadverfolgbarkeit für die Maßsynthese eines hyperredundanten, binär aktuierten Manipulators
Evaluation of Path Following Capabilities for the Synthesis a Hyper-Redundant Manipulator Based on Binary Actuation

Vogel, Arne:

Schätzung der Netzimpedanz über Wirk- und Blindleistungsvariation
Line Impedance Estimation Using Active and Reactive Power Variations

Diplomarbeiten

Diploma Theses

2014

John, Malte:

Kleinsignal-Impedanzanalyse von Drehstromsystemen zur Stabilitätsuntersuchung von Microgrids
Small Signal Impedance Spectroscopy for Three-Phase AC Systems for Studying Stability of AC Microgrids

Müller, Jan-Kaspar:

Untersuchung erweiterter IGBT-Temperaturmodelle zur Optimierung von Modulationsverfahren in der Regelung modularer Multilevel-Umrichter
Investigation of Enhanced IGBT Temperature Models for Optimization of Modulation Methods in Modular Multilevel Converter Control

Strempel, Jan:

Weiterentwicklung einer Deadbeat-Antriebsregelung für den Einsatz eines Online-Optimierungsverfahrens in der Elektromobilität
Further Development of a Deadbeat Drive Control for Use of an Online Optimization Method in Electromobility

Winterholler, Ilja:

Validierung analytischer und numerischer Simulationsmodelle zur Geräuschberechnung von Aktuatoren elektromechanischer Lenksysteme
Validation of Analytical and Numerical Simulation Models for Noise Calculation of Actuators in Electromechanical Steering Systems

2015

Becker, Christian:

Untersuchung der Online-Identifikationsverfahren an geregelten Asynchronmaschinen mittels des Gradientenabstiegsverfahrens
Investigation of Online Identification Methods in Controlled Induction Machines Using the Gradient Descent Method

Neumann, Birger:

Untersuchung von Inselnetzen in Kombination mit einem HV-DC-Diodengleichrichter zur Anbindung von Offshorewindparks
Investigation of Island Networks in Combination with a HV DC Diode Rectifier for Connection of Offshore Wind Parks

Sahhary, Amer:

Untersuchung und Vergleich modularer Multilevel-Direktumrichter unter Betrachtung erweiterer IGBT-Temperaturmodelle
Investigation and Comparison of Modular Multilevel Direct Converters Considering Enhanced IGBT Temperature Models

Masterarbeiten

Master Theses

2014

Bhusal, Dhundi Raj:

Untersuchung zur positionsgeberlosen Regelung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen basierend auf einer angepassten Stromerfassung
Studies on Sensorless Control of Permanent Magnet Synchronous Machines with Respect to an Adapted Current Sensing

Dobbert, Frederic:

Ermittlung des resultierenden Luftspaltleitwertes für Vollpol- und Schenkelpolsynchronmaschinen mittels einer FEM-Berechnung
Determination of the Resulting Air-gap Permeance Function of Salient Pole and Nonsalient Pole Synchronous Machines Using FEM

Haake, Daniel:

Planung, Aufbau und Inbetriebnahme eines Prüflabors für feldorientiert geregelte Drehfeldmaschinen
Planning, Construction and Commissioning of a Test Laboratory for Field-oriented Controlled Electrical Machines

He, Min:

Entwicklung von Betriebsstrategien für Hybridfahrzeuge unter Berücksichtigung des thermischen Verhaltens der elektrischen Maschine und der Leistungselektronik
Development of Operating Strategies for Hybrid Vehicles Taking the Thermal Behavior of the Electric Machine and the Power Electronics into Account

Hosseini, Hamid:

Entwurf einer permanenterregten Synchronmaschine als Generator eines Range Extenders
Technical Design of a Permanent Magnet Synchronous Machine as a Generator of a Range Extender

Kaftan, Alexander:

Entwurf einer zeitdiskreten feldorientierten Regelung (FOR) an Drehstrommaschinen (PMSM, ASM) und Untersuchung des Einflusses auf das Maschinenverhalten
Design of a Digital Field-oriented Control (FOC) for Three-phase Machines (PMSM, IM) and Investigation of the Influence on Behavior of the Machine

Krzeminick, Lars:

Skalierung von Kennfeldern elektrischer Maschinen zur Integration in ein Fahrzeugsimulationswerkzeug
Scaling of Loss and Efficiency Maps of Electric Machines for Integration in a Vehicle Simulation Tool

Leßmann, Andreas:

Auslegung und simulative Untersuchung eines elektrischen Hilfsantriebsstrangs zur Erhöhung der Drehzahlstabilität bei zyklischen Drehmomentbelastungen
Design and Simulation of an Auxiliary Electric Power Train to Increase the Stability of the Rotational Speed with Periodic Torque Demand

Michalak, Bastian:

Implementierung eines Thermomanagements für Traktionsumrichter
Implementation of a Thermal Management for Automotive Converters

Miljanovic, Mijodrag:

Stromharmonischen-Regelung eines dreiphasigen, netzseitigen Wechselrichters mit dSPACE zur Verbesserung der Netzqualität
Harmonic Current Control of Three-Phase Grid-Connected Converters with dSpace to Improve the Grid Voltage Quality

Misterek, Alan:

Entwicklung, Implementierung und Inbetriebnahme eines geberlosen Drehzahlbeobachters für Induktionsmaschinen an langen und unsymmetrischen Kabeln
Development, Implementation and Testing of a Sensorless Speed Observer for Induction Machines at a Long Asymmetric Cable

Müller, Simon:

Untersuchung zur elektromagnetischen Verträglichkeit zum störfesten Design von SiC-Wandler-Steuerungen
Electromagnetic Interference Immune Design of a SiC Converter Control

Xu, Chengzhi:

Entwicklung, Aufbau und Untersuchung von Schaltungen zur Unterscheidung von Leistungshalbleiterfehlern
Development, Construction and Testing of Circuits for Distinction of Power Semiconductor Errors

Zlotnik, Alexander:

Entwicklung von wirkungsgradoptimalen Betriebsstrategien für DC/DC-Wandler und Traktionswechselrichter am gemeinsamen Spannungszwischenkreis
Development of Optimal Efficiency Control Strategies for DC/DC Converters and Automotive Inverters at the Common DC Link

2015

Berweiler, Björn:

Fahrzyklusoptimale Dimensionierung einer synchronen Reluktanzmaschine für die Verwendung als Traktionsantrieb im Elektrofahrzeug
Driving Cycle Based Design of a Synchronous Reluctance Machine for Use as a Traction Drive in an Electric Vehicle

Borowski, Daniel Heinrich:

Untersuchung einer Messschaltung zur Bestimmung der Sperrschichttemperatur im Ausschaltvorgang des IGBTs
Examination of a Measurement Circuit to Determine the Junction Temperature in the IGBT's Turn-off Behaviour

Bothmann, Fabian:

Bestimmung der Stromverteilung einer Schenkelpolsynchronmaschine mit fehlenden Spulen in der Ständerwicklung
Determination of the Current Distribution of a Salient Pole Synchronous Machine with Cut-Out Coils in the Stator Winding

Brandt, Johannes:

Dimensionierung und Realisierung eines hocheffizienten und galvanisch trennenden Schaltnetzteils mit Regelung der Ausgangsseite
Design and Realisation of a Power Supply with Galvanic Isolation and Control of the Output Side

Brandt, Tobias:

Untersuchungen zur Regelung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen mit FPGA-gestützter Stromerfassung
Examinations on Control of Permanent Magnet Synchronous Machines with an FPGA-based Current Sensing

Greve, Marlien:

Untersuchung und Kriterien der Stabilität in Netzen mit einem hohen Anteil leistungselektronischer Betriebsmittel
Study and Criteria of the Stability in Grids with a High Amount of Power Electronic Components

Hartke, Jan:

Modellierung und experimentelle Validierung des Einflusses paralleler dezentraler Erzeuger auf die Stromregelung eines netzseitigen, dreiphasigen Wechselrichters
Modelling and Experimental Validation of the Influence of Parallel Decentralized Energy Sources on a Three-Phase Grid-Connected Inverter Current Control

Haschen, Elmar:

Untersuchung der Optimierungsmöglichkeiten des analytischen Verfahrens zur Nachrechnung der Schenkelpolsynchronmaschinen
Investigation of the Optimization Capabilities of the Analytical Method for the Salient Pole Synchronous Machine Calculation

Herbst, Nicola:

Softwarebasierte Erkennung und Behandlung von Umrichterfehlern
Software-based Detection and Diagnosis of Drive System Inverter Faults

Heumann, Patrick:

Leistungsdichte permanenterregter Synchronmaschinen mit hoher Betriebsdrehzahl
High Power Density of Permanent Magnet Synchronous Motors with High Operating Speed

Hölzel, Stephen:

Untersuchung einer Methode zur kalorimetrischen Bestimmung von Verlusten in elektronischen Bauelementen
Investigation of a Calorimetric Method for Loss Determination in Electronic Components

Kimmerle, David:

Entwicklung leistungselektronischer Schaltungen für Antriebe kleiner Leistung
Development of Power Electronic Circuits for Low-Power Drives

Lesniewski, Przemyslaw:

Untersuchung eines Sektormotor-Konzepts für elektrische Fahrzeugantriebe
Study on the Sector Motor Concept for Electric Drives

Müller, Arthur:

Untersuchung der Stromsymmetrie parallel geschalteter IGBTs
Investigation of the Current Balance of Parallel-connected IGBTs

Neitemeier, Dennis:

Untersuchung und Auslegung verschiedener Linearmotortechniken für die Mäheinrichtung eines Mähdreschers
Study and Design of Different Linear Motor Techniques for a Mowing Mechanism of a Harvester

Rebers, Lauritz:

Untersuchungen von Netzfehlern mit Blick auf die Optimierung einer Fault-Ride-Through-Regelung im Fehlerfall
Investigations of Grid Faults with a View to Optimizing a Fault Ride-Through Control in Case of Error

Rehfeldt, Alexander:

Messtechnische Untersuchung eines Demonstrators als Voruntersuchung zur Umsetzbarkeit von speziellen Blechanordnungen in berührungslosen Übertragern
Technical Study of a Demonstrator as Preliminary Study about the Feasibility of Special Sheet Arrangements in Rotary Transformers

Schlüter, Gerrit:

Elektromotoren mit gegossenen Spulen zur Erreichung der neuen IEC-Effizienzklassen IE4 und IE5
Electric Motors with Cast Coils to Achieve the New IEC Efficiency Classes IE4 and IE5

Schlüter, Michael:

Untersuchung und Realisierung von Verfahren zur Bestimmung der Sperrschichttemperatur von IGBTs im Schaltbetrieb
Examination and Realisation of Methods to Determine the Junction Temperature of IGBTs During Operation

Siebrecht, Martin:

Untersuchung von Online-Identifikationsverfahren von geregelten doppeltgespeisten Asynchronmaschinen bei Windenergieanlagen
Investigation of the Online Parameter Estimation Methods of Controlled Doubly-fed Induction Machines for Wind Turbine Generators

Vip, Stephan:

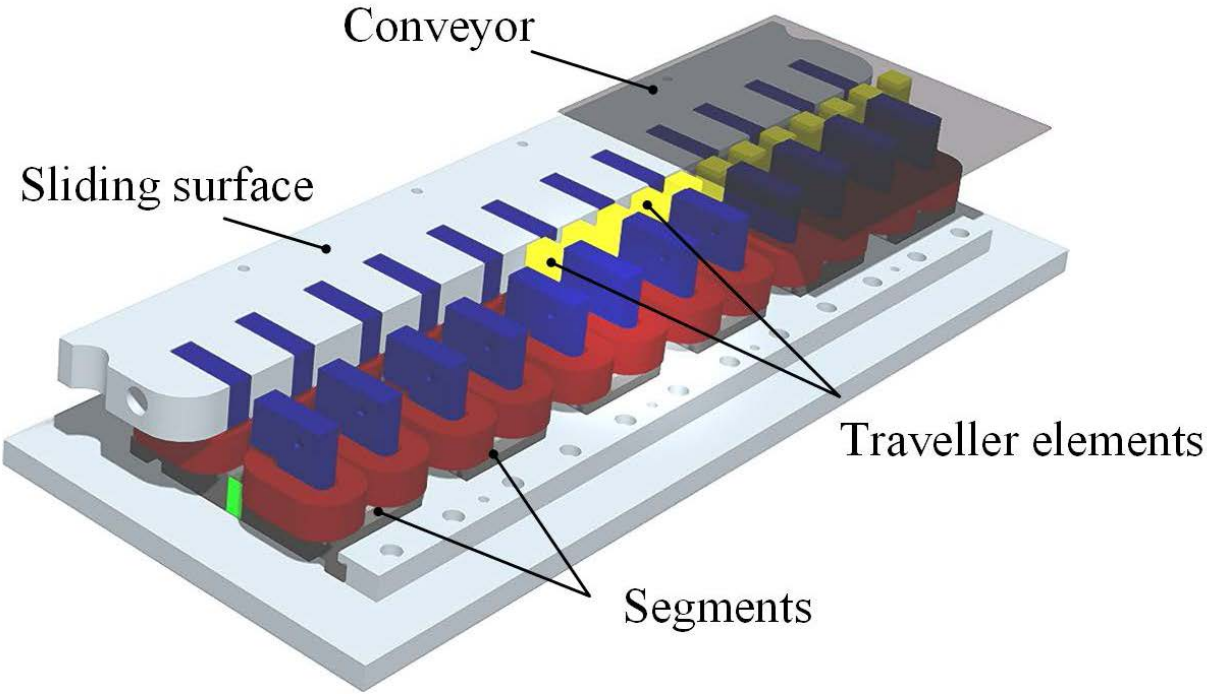
Dimensionierung von berührungslosen Übertragern mit Ferritkern
Designing of Rotary Transformers with Ferrite Core

Wohlers, Constantin:

Untersuchung der thermischen Eigenschaften von Metall-Laser-gesinterten Spulen für elektrische Maschinen
Examination of the Thermal Properties of Metal Laser Sintered Coils for Electrical Machines

Dissertationen 2014/2015

Dissertations 2014/2015



Aufbau eines hybriden Linearantriebs

Design of a hybrid linear drive

Verhaltensanalyse bürstenloser Gleichstrom-maschinen mit axial verschiebbarem Rotor

von Dr.-Ing. Emine Bostanci

Aufgrund ihrer hohen Drehmoment- und Leistungsdichte und ihres hohen Wirkungsgrads im Volllastbetrieb kommen permanentmagneterregte Synchronmaschinen häufig in Traktionsanwendungen zum Einsatz. Durch die konstante PM-Erregung ist das Hochgeschwindigkeitsverhalten dieser Maschinen jedoch begrenzt. In zahlreichen Studien wurde daher untersucht, wie die maximale Geschwindigkeit ohne Einbuße der hohen Drehmoment- und Leistungsdichte erhöht werden kann. Bei diesen Studien ging es entweder um eine Erhöhung der Drehzahlgrenzen durch eine optimierte Auslegung herkömmlicher Topologien permanenterregter bürstenloser Maschinen oder um die Entwicklung neuer Topologien unter Verwendung eines nicht-konventionellen Feldschwächverfahrens. Eine dieser nicht-konventionellen Methoden ist die mechanische Feldschwächung, bei der die aktive axiale Maschinenlänge durch Verschiebung des Rotors relativ zum Stator reduziert wird. Die grundlegende Wirkungsweise dieses Verfahrens ist in Abb. 1 dargestellt. Mit der Reduzierung der aktiven axialen Länge nimmt die Flussverkettung der Wicklungen ab. Dadurch kann die Gegen-EMK bei hohen Drehzahlen begrenzt und die Drehzahlgrenzen der E-Maschine bei konstanter Zwischenkreisspannung erhöht werden.

Dieses Verfahren ist eine effektive Methode zur Erweiterung der Drehzahlgrenzen von E-Maschinen mit einem begrenzten Feldschwächbereich. Deswegen wird in dieser Studie das Hochgeschwindigkeitsverhalten einer permanentmagneterregten elektrischen Maschine im Hinblick auf die Betriebseigenschaften und den Wirkungsgrad analysiert.

Hierzu wird eine mehrphasige bürstenlose Gleichstrommaschine mit einem axial verschiebbaren Rotor verwendet. Zunächst werden Maschinengrößen wie Gegen-EMK, Drehmomentkonstante und Phaseninduktivitäten für verschiedene axiale Rotorpositionen mittels 2-D- und 3-D-FEM-Analysen bestimmt. Mithilfe dieser Maschinenparameter wird ein dynamisches Simulationsmodell des Antriebssystems erstellt. Anhand dieses Modells werden die Betriebseigenschaften einschließlich der Drehzahlgrenzen des mechanischen Feldschwächverfahrens ana-

Performance Analysis of Brushless DC Machines with Axially Displaceable Rotor

by Dr.-Ing. Emine Bostanci

PM brushless machines are used in vehicle traction applications because of their high torque/power density and their high efficiency at full load. However, the constant PM excitation limits their high speed performance. Therefore, methods to extend the rotational speed range of PM brushless machines without decreasing the torque/power density and efficiency are presented in various researches. These studies deal either with conventional PM brushless machine topologies that have a better high speed performance or with novel PM brushless machine topologies that are developed for non-conventional field weakening approaches. One of these non-conventional field weakening approaches is the mechanical field weakening method, in which the axial active length of the PM brushless machine is mechanically decreased by axially displacing the rotor relative to the stator. The basic operation principle of this method is shown in Fig. 1. As the active axial length is reduced, the flux linkage of the stator phases decreases. Consequently, the induced back EMF can be reduced at high rotational speeds in order to extend the speed range with a limited DC-link voltage.

This method is an effective way to extend the speed range of PM brushless machines with a limited electrical field weakening capability. Therefore, the performance of this method is analyzed in terms of its operational characteristics and efficiency in this study.

As a test machine, an existing multi-phase brushless DC (BLDC) machine with an axially displaceable rotor is used. First, the parameters of this machine, such as back EMF, torque constant and phase inductances are determined for various axial rotor positions by using 2-D and 3-D FEM analyses. Then, the determined machine parameters are used to build a dynamic simulation model of the drive system. By using this developed system model, the operational characteristics including the limits of the mechanical field weakening method are analyzed. In the second place, the efficiency of the BLDC machine is investigated, laying the main focus of attention on

the additional losses in the field weakening range. In order to determine these losses, new numerical and measurement methods are developed. Furthermore, the measurement results are used to validate the numerical results. Finally, recommendations for PM brushless machines with an axially displaceable stator/rotor including possible design measures to reduce the additional losses and the application of mechanical field weakening are presented.

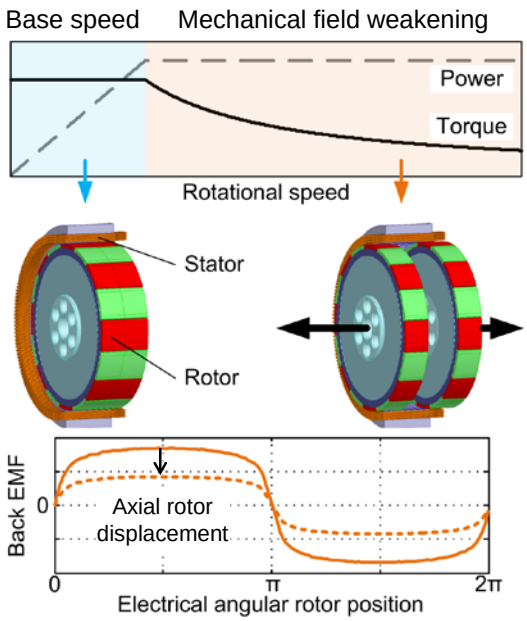


Abb. 1: Funktionsweise

Fig. 1: Functionality

lysiert. Anschließend wird die Effizienz der bürstenlosen Gleichstrommaschine unter besonderer Berücksichtigung der Zusatzverluste im mechanischen Feldschwächbereich untersucht. Zur Bestimmung dieser Verluste werden neue numerische und messtechnische Methoden entwickelt und die numerischen Ergebnisse anhand der Messergebnisse verifiziert. Zum Schluss werden Empfehlungen für permanentmagneterregte elektrische Maschinen mit axial verschiebbarem Stator/Rotor einschließlich Maßnahmen zur Reduzierung der Zusatzverluste und den Anwendungsbereich der untersuchten mechanischen Feldschwächung vorgestellt.

Kontakt:

Dr.-Ing. Emine Bostanci
☎ +1 (469) 7201848
✉ eminebostanci@gmail.com

Kombinierte analytisch-numerische Berechnung der Magnetgeräusche elektrischer Maschinen

von Dr.-Ing. Dirk Braunisch

Zur Berechnung der elektromagnetisch angeregten Schwingungen und Geräusche elektrischer Maschinen existieren grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Die Anwendung eines klassischen analytischen Verfahrens, wie z.B. nach Jordan, oder eines numerischen Verfahrens z.B. auf Basis der Finite-Elemente-Methode. Rein numerische Berechnungsverfahren weisen meist eine hohe Genauigkeit im Ergebnis auf. Im Gegenzug beanspruchen sie aber oft hohe Rechenzeiten. Rein analytische Verfahren führen die Berechnungen in sehr kurzer Zeit aus. Die Genauigkeit ihrer Ergebnisse reicht jedoch häufig nicht an die einer numerischen Rechnung heran, da analytische Modelle methodenbedingt notwendigen Vereinfachungen unterworfen sind.

Die Dissertation stellt ein Berechnungsverfahren vor, das aus der Kombination von numerischen und analytischen Methoden hervorgeht. Dadurch werden die Vorteile beider Verfahren – kurze Rechenzeiten und eine höhere Genauigkeit der Ergebnisse – vereint.

Der numerische Anteil des Verfahrens beschränkt sich im Wesentlichen auf die Modalanalyse des Maschinenaußenteils. Aus ihr werden die Eigenfrequenzen und -vektoren sowie die Knotenkoordinaten des Modells extrahiert. Analytisch werden die magnetischen Induktions- und Leitwertwellen im Luftspalt bestimmt und aus ihnen die mechanischen Zugspannungswellen berechnet. Aus diesen Daten werden die Kraftvektoren als Eingangsgrößen der modalen Übertragungsfunktionen ermittelt. Durch eine Fourieranalyse werden die Verschiebungswellen der Maschinenoberfläche bestimmt. Eine nachgeschaltete analytische Berechnung des abgestrahlten Schalldruckpegels rundet das Verfahren ab.

Anhand von zwei unterschiedlichen Versuchsmotoren, einem Induktionsmotor mit Käfigläufer und einem kleinen Synchronmotor mit Permanentmagnetläufer, wird das Berechnungsverfahren erläutert. Hierbei ist ein wichtiges Thema die Bildung stark nicht sinusförmiger Eigenformen bei bestimmten Geometrien, bei deren Berücksichtigung das entwickelte Verfahren rein analytischen Methoden deutlich überlegen ist.

Combined Analytical-Numerical Calculation of Magnetic Noise in Electrical Machines

by Dr.-Ing. Dirk Braunisch

There are basically two ways of calculating the electromagnetically excited vibration and noise of rotating electrical machines: A classical numerical procedure, e.g. Jordan's method, or a numerical procedure, e.g. based on the finite element method. Purely numerical calculation methods often show results with high accuracy. In return, they require long calculation times, depending on the model's level of detail. Purely analytical methods offer results in a very short time. However, they often do not reach the accuracy of numerical calculations, as analytical models are necessarily subject to simplifications due to the applied method.

This thesis presents a method for the calculation of vibrations and noise of rotating electrical machines, which results from the combination of analytical and numerical methods. Thus, advantages of both methods are joined: short calculation times and results with higher accuracy.

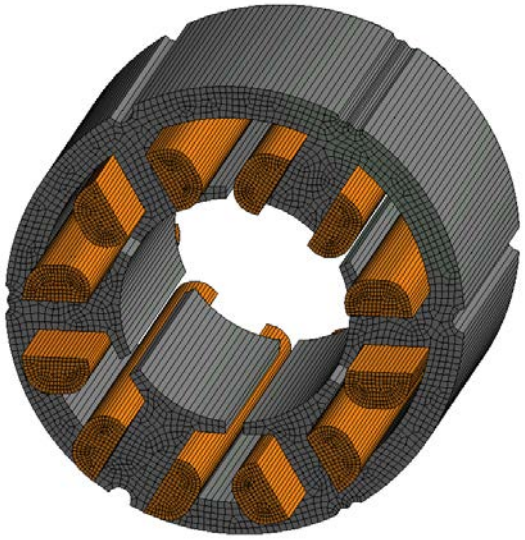


Abb. 1: FE-Modell für die numerische Modalanalyse

Fig. 1: FE model for numerical modal analysis

The numerical part of the calculation method is basically limited to the modal analysis of the machine's outer part. From this analysis, eigenfrequencies and eigenvectors as well as the nodal coordinates are extracted. The spa-

tial harmonics of the magnetic flux density and of the permeance in the air gap are determined analytically. From these, the spatial harmonics of the force density are calculated. From this data, the force vectors are determined as input parameter for the modal transfer function. The spatial harmonics of the machine's surface displacement are calculated using a Fourier transformation. The method is completed by an in-line calculation of the radiated sound pressure level of all harmonics of the displacement.

The calculation method is illustrated on the basis of two different test motors, an induction motor with a squirrel-cage rotor and a small synchronous motor with a permanent magnet rotor. Here, the formation of strongly non-sinusoidal eigenmodes on particular geometries is an important issue. For the consideration of these eigenmodes, the developed method is superior to purely analytical methods.

Comparisons with the classical, purely analytical vibration calculation and validations of several partial results with purely numerical simulations as well as comparisons of the full results with vibration measurements are included.

In this thesis, special attention is put to the influence of tangential forces on the electromagnetically excited noise. In this context, comparisons between calculations with and without tangential forces are made for both test motors.

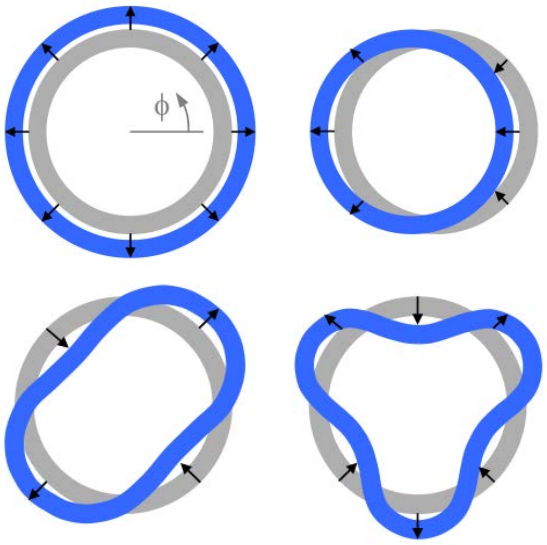


Abb. 2: Vereinfachte Darstellung der ersten vier Eigenformen eines Stators

Fig. 2: Simplified view of the first four eigenmodes of a stator

Es finden Vergleiche mit der klassischen, rein analytischen Schwingungsberechnung statt sowie Validierungen einzelner Teilergebnisse mit rein numerischen Simulationen und des Gesamtergebnisses mit Schwingungsmessungen.

Besondere Beachtung findet in dieser Arbeit außerdem der Einfluss tangentialer Kräfte auf das angeregte Geräusch. In diesem Zusammenhang werden für die beiden Versuchsmotoren Vergleiche zwischen Berechnungen mit und ohne Tangentialkrafteinfluss angestellt.

Kontakt:

Dr.-Ing. Dirk Braunisch
☎ +49 (0) 5341 21 - 6327
✉ braunisch.d@salzgitter-ag.de

Beeinflussung des Geräuschs von Induktionsmaschinen durch innovative Ständer- und Läufergeometrien

von Dr.-Ing. Eike Matthias Garbe

In elektrischen Maschinen werden aufgrund der über dem Umfang periodisch wiederkehrenden Geometrien in der Regel wenige signifikante Einzeltöne erregt. Da derartige Geräuschspektren für den Menschen lästig erscheinen, werden zum Beispiel bei Ventilatoren die Schaufeln ungleichmäßig über dem Umfang angeordnet. Damit wird ein angenehmeres breiteres Geräuschspektrum mit reduzierter Lautstärke der dominierenden Einzeltöne erreicht.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich damit, das Verfahren einer unregelmäßigen Anordnung der Ventilatorschaufeln auf zum Beispiel die Nutpositionen und -formen von Käfigläufern in Induktionsmaschinen zu übertragen. Hierzu wird zunächst ein Formelwerk zur Berechnung der geräuschanregenden magnetischen Kräfte und Drehmomente aufgebaut, welches insbesondere für unregelmäßig angeordnete oder geformte Nuten gilt.

Durch analytische Überlegungen sowie numerische Optimierungen, welche wiederum auf der analytischen Formulierung der wesentlich zum Geräusch einer Maschine beitragenden Effekte basieren, lassen sich optimierte unregelmäßige Geometrien finden. Anhand beispielhaft ausgewählter optimierter Geometrien werden insbesondere einige Möglichkeiten zur Beeinflussung des Geräuschs von Induktionsmaschinen mit Käfigläufern untersucht. Die Beispiele sind dabei real vermessen, beziehungsweise analytisch oder numerisch berechnet. Dabei zeigt die Gegenüberstellung der errechneten Werte mit den Messungen die Eignung der Berechnungsmethoden.

Zusätzlich zur Variation der Nutpositionen und -formen im Läufer wird eine auf den Zahnhöhen des Ständers basierende Methode zur Variation der Luftspaltweite über dem Umfang der Maschine hergeleitet und ebenfalls anhand einiger ausgewählter Beispiele untersucht.

Influencing the Sound of Induction Machines by Innovative Stator and Rotor Geometries

by Dr.-Ing. Eike Matthias Garbe

Due to periodically repeating geometric elements in electric machines, usually just a few significant single tones will be emitted. As such noise spectra feel uncomfortable for human beings, for example fans are built with uneven blade spacings. This results in a more comfortable wider noise spectrum with quieter dominant single tones.

This thesis deals with the idea to transfer the method of uneven blade spacings for example to the slot positions or geometries of cage rotors in induction machines. Therefore, a set of formulas to calculate the noise-exciting magnetic forces and torques of machines with uneven slot spacings and slot geometries will be developed.

By analytic considerations as well as numeric optimizations, which are based on the mathematical description of the main noise-causing effects in electric machines, optimized uneven geometries can be found. Based on selected examples with optimized geometries, several methods to influence the sound of cage induction machines will be investigated. Thereby, the examples will be measured respectively calculated analytically or numerically. The comparison of measurements and calculations shows applicability of the calculation methods.

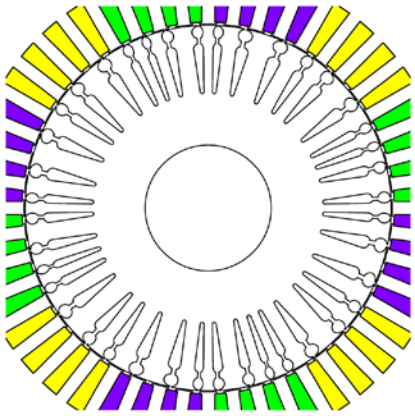


Abb. 1: Rotor mit modulierten Nutpositionen und -formen

Fig. 1: Rotor with modulated slot positions and geometries

In addition to the variation of the slot positions and geometries, a method to vary the air gap width by use of different stator tooth heights will be developed. It will also be analyzed with the help of selected examples.

The results show that for some machines a much more comfortable sound can be achieved by varying the slot positions and geometries. But, for most of the geometries no appreciable more comfortable sound can be reached. No improvement of the sound can be observed when using the variation of the air gap width. Nevertheless, this method can be used to reduce harmonics of the magnetic flux density of machines with low field excitation of the rotor, which means especially synchronous reluctance machines.

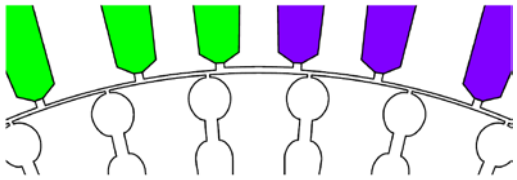


Abb. 2: Überhöht dargestellte Variation der Ständergeometrie

Fig. 2: Exaggerated illustration of a varied stator geometry

Im Ergebnis zeigt sich, dass mit Hilfe der Variation der Läufernutpositionen und -formen für einige Maschinen ein deutlich angenehmeres Geräusch erzielbar ist. Für die meisten Geometrien ist hingegen kein merklich angenehmeres Geräusch erreichbar. Keine Verbesserung bezüglich des Geräuschs lässt sich durch die Variation der Luftspaltweite beobachten. Diese Variation ist dennoch sinnvoll, um bei Maschinen mit niedriger läuferseitiger Felderregung, also insbesondere bei Synchronreluktanzmaschinen, viele Induktionsoberwellen abzuschwächen.

Kontakt:

Dr.-Ing. Eike Garbe
✉ eike.m.garbe@ntnu.no

Synchrone Linear-Direktantriebe für Förderbänder

von Dr.-Ing. J.-P. Jastrzembski

Im Mittelpunkt der Arbeit stehen der Entwurf und der Aufbau von Linearmotoren, die direkt ein Förderband antreiben. Die Motivation zu dieser Arbeit leitet sich aus den Vorteilen ab, die sich durch die kontaktlose Krafteinleitung, das Herabsetzen von Beanspruchungen des Zugträgers sowie den effektiven Einsatz eines Linearmotors als Zwischenantrieb ergeben. Bei den untersuchten Förderbändern handelt es sich zum einen um ein Kunststoff-Ketten-Modulband und zum anderen um einen flexiblen Gurt, der aus einem vulkanisierten Textilgeflecht besteht. Als Antrieb kommen ausschließlich Maschinen zum Einsatz, die der Kategorie der Synchronmaschinen zuzuordnen sind. Die dabei untersuchten Ausführungsformen verwenden eine permanentmagnetische Erregung, so dass die Verluste, die bei einer elektrischen Erregung anfallen würden, entfallen. Die beiden aufgebauten Antriebe erlauben wegen der identischen Auslegungskriterien eine unmittelbare Vergleichbarkeit. Weiterhin werden sie zur Minimierung von Normalkräften mit einem doppelten Luftspalt ausgeführt.

Nach einer kurzen Einführung in die Eigenschaften der Stetigförderer und relevanten elektrotechnischen Grundlagen werden die Entwürfe der untersuchten Antriebe vorgestellt. Zuerst werden die Dimensionierung und der Aufbau eines Linearantriebs auf der Basis einer permanentmagneterregten Synchronmaschine (Abb. 1) erläutert.

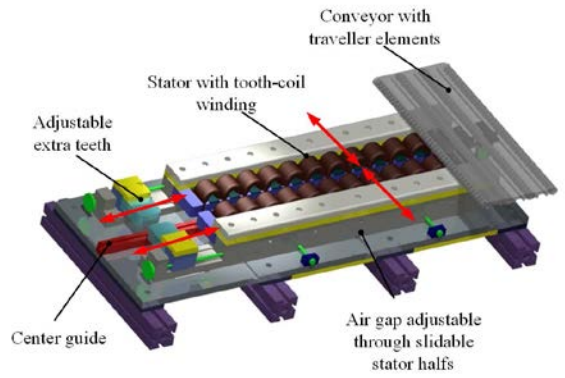


Abb. 1: Aufbau eines Linearantriebs als permanentmagneterregte Synchronmaschine

Fig. 1: Linear drive based on a permanent magnet synchronous machine

Synchronous Linear Direct Drives for Conveyors

by Dr.-Ing. J.-P. Jastrzembski

The doctoral thesis focuses on the design and configuration of linear drives capable of directly driving a conveyor. Research on this topic is substantially motivated by the advantages that arise from a directly induced feeding force, a minimized mechanical charge of the conveyor and a linear drive that can be efficiently used as an intermediate drive. The investigated conveyors are a plastic chain modular belt conveyor and a flexible belt being made of vulcanized textile braid. All of them are driven by different types of permanent magnet synchronous machines, so that losses which are typical for electrical excitation can be neglected. Due to identical design criteria, a direct comparability of the tested drives is provided. Moreover, the motors are designed with double-sided air gap to minimize normal forces.

After a brief introduction into the characteristics of continuous conveyors and some basic information, the configurations of the investigated drives are presented. First, the dimensioning as well as the structure of a linear motor based on a permanent magnet synchronous machine is given (Fig. 1). Here, special attention is paid to minimized cogging forces, and different methods are described. The cogging forces are analyzed in detail with respect to their origin, and possibilities are shown how to reduce them efficiently.

Since a conveyor belt driven by a permanent magnet synchronous machine has entirely to be made of permanent magnet material, a hybrid linear drive is investigated as a more favourable alternative (Fig. 2). This kind of drive has never been used in conveyor applications before. Even though its application in large systems, e.g. in open pit mining, is disadvantageous due to its lower force density, it is perfectly suitable for example for applications in intralogistics, having several advantages from the economic point of view. The main advantage of this drive solution is that permanent magnet excitation and the motor winding are provided in the stator. Therefore, the number of magnets needed is independent of the conveyor length which consequently lowers the costs. Since the motor investigated

in this thesis is installed below the conveyor, a special linear drive configuration is required which is a novelty in this respect. Besides the calculation of the motor, a description of its segmented structure is given. The dimensioning process is presented based on an analytical approach and by a subsequent FEM simulation.

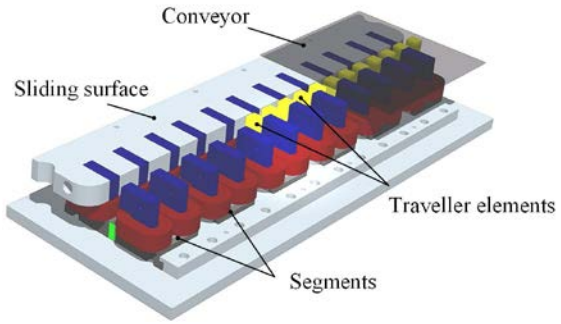


Abb. 2: Aufbau als Hybridmotor

Fig. 2: Design based on a hybrid motor

Finally, both drive configurations are evaluated by measurements, and the results are compared to previous predictions. Moreover, the characteristics of the test setups are directly compared and evaluated.

Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Verringerung der Rastkräfte, wobei verschiedene Methoden vorgestellt werden. Die Rastkräfte werden hinsichtlich ihres Entstehungsortes genauer untersucht, und es werden Möglichkeiten gezeigt, wie sie effektiv vermindert werden können.

Der Aufbau des Antriebs als permanentmagneterregte Synchronmaschine erfordert, dass das gesamte Förderband mit permanentmagnetischem Material ausgerüstet sein muss. Aus diesem Grund wird als günstigere Ausführung ein hybrider linearer Antrieb untersucht (Abb. 2). Ein derartiger Antrieb für Förderbänder ist bisher unbekannt. Wenn auch seine Anwendung in großen Anlagen, wie z.B. im Tagebau, wegen der geringeren Kraftdichte unvorteilhaft ist, eignet er sich z.B. für intralogistische Anwendungen und bringt aus ökonomischer Sicht Vorteile mit sich. Der entscheidende Vorteil dieser Antriebslösung besteht darin, dass sich die permanentmagnetische Erregung und die Wicklung des Motors im Stator befinden, wodurch die Zahl der benötigten Magnete sinkt und außerdem unabhängig von der Länge der Förderstrecke ist. Da der Motor in dieser Arbeit unmittelbar unter dem Förderband angeordnet wird, erforderte dies einen speziellen Aufbau des Linearantriebs, der in dieser Form neuartig ist. Neben der Vorgehensweise zur Berechnung des Motors wird auch dessen segmentierter Aufbau vorgestellt. Der Dimensionierungsgang dieses Antriebs wird in Form eines analytischen Ansatzes und anschließender FEM-Simulation dargestellt.

Abschließend werden beide Antriebe messtechnisch untersucht, um einen Vergleich mit den Vorausberechnungen durchzuführen. Außerdem werden die Eigenschaften der praktischen Aufbauten direkt miteinander verglichen und bewertet.

Kontakt:

Dr.-Ing. Jan-Peter Jastrzembski
☎ +49 (0) 178 / 7326126
✉ jan-peter@jastrzembski.de

Fault-Ride-Through-Regelung von Windenergieanlagen mit Vollumrichter und LCL-Netzfilter

von Dr.-Ing. Robert Meyer

In dieser Arbeit wird die Netzintegration dezentraler Erzeugungsanlagen hoher Leistung untersucht, die über Mittelspannungsumrichter in das Energieversorgungsnetz einspeisen. Im Fokus stehen dabei die Anforderungen an die Spannungsqualität und das Verhalten der Anlagen bei Netzfehlern. Beides ist in den am Aufstellungsort einer Anlage gültigen Netzanschlussbedingungen geregelt. Als konkretes Beispiel wird im Rahmen der Arbeit eine 5-MW-Windenergieanlage mit Vollumrichter näher betrachtet.

Eine häufig genutzte Schaltungstopologie im Mittelspannungsbereich ist der 3-Punkt Neutral-Point-Clamped Umrichter, der auch in dieser Arbeit verwendet wird. Eine Eigenschaft dieser Topologie ist die niedrige Schaltfrequenz der Leistungshalbleiter, die aufgrund thermischer Randbedingungen in der Regel lediglich wenige hundert Hertz beträgt.

Durch die niedrige Schaltfrequenz werden von einem derartigen Umrichtersystem Oberschwingungen mit niedriger Ordnungszahl, wie der 5. und 7. Harmonischen, erzeugt. Dies erschwert die Auslegung eines geeigneten Netzfilters, da die bekannten Standardverfahren zur Filterauslegung nicht angewendet werden können.

Aus diesem Grund wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein spezielles Verfahren zur Auslegung von LCL-Netzfiltern für Umrichter mit niedriger Schaltfrequenz vorgeschlagen. Es berücksichtigt die Oberschwingungsgrenzwerte aus den Netzanschlussbedingungen, sämtliche Betriebspunkte der Anlage und alle signifikanten Parametertoleranzen. Dadurch wird eine Anregung der Resonanzfrequenz des Filters auch bei schwankenden Systemparametern sicher ausgeschlossen. Das entwickelte Verfahren ist für alle Umrichtertopologien und alle synchronen Modulationsverfahren, die lediglich die umrichtertypischen ungeradzahligen Harmonischen erzeugen, geeignet.

Ein weiterer Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit ist die Regelung des netzseitigen Wechselrichters im Fall eines Netzfehlers. Die Netzanschlussbedingungen schreiben vor, dass dezentrale Erzeugungsanlagen bei Netzfehlern für eine festgelegte Dauer am Netz verbleiben müssen,

Fault Ride-Through Control of Wind Power Plants with Full-Scale Converter and LCL Filter

by Dr.-Ing. Robert Meyer

The topic of this thesis is the grid integration of distributed high-power generation systems feeding into the public grid via medium-voltage converters. The focus is on the voltage quality requirements and on the system behaviour in case of grid faults. Both are regulated by the grid code that is valid on the point of common coupling of the generation system. Within the scope of this work, a 5 MW wind turbine with full-scale converter is investigated in detail.

The three-level neutral-point-clamped topology used in this study is commonly applied for medium-voltage converters. One feature of this topology is the semiconductors' low switching frequency of just a few hundred Hertz due to thermal requirements.

Due to the low switching frequency, converter systems of this kind generate low-order harmonics, like the 5th and 7th. The design of an appropriate grid filter is therefore more difficult, as the existing standard filter design methods are not applicable.

For this reason, a specific LCL filter design method for converters with low switching frequency is proposed in this thesis, considering the harmonic limits as defined in the grid code, the system's operating points as well as all significant parameter tolerances. In this way, an excitation of the filter's resonance frequency can safely be avoided even in case of varying system parameters. The method is suitable for all converter topologies and all types of synchronous modulation methods that only generate converter-typical odd-order harmonics.

Another focus of the present work is on the control of the grid-side converter in case of grid faults. According to the grid code, decentralized power generation systems must be capable of stabilizing the grid by supplying a defined reactive current during a specified period of time, called “fault ride-through” (FRT) capability.

The method developed in this study combines conventional current control in *dq*-frame with a predictive control strategy. This method provides safe fault ride-through, avoiding an over

loading of the semiconductors by transient current peaks. The method presented is also suitable when using alternative modulation methods, as for example offline-optimized pulse patterns. In the course of the work, it is shown that thereby switching frequency and resulting switching losses can significantly be reduced without having a negative impact on the line filter.

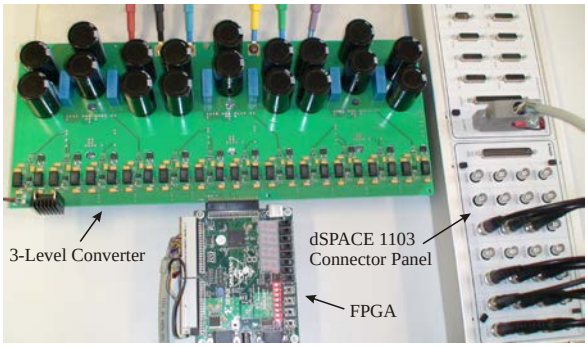


Abb. 1: Laboraufbau eines 3-Punkt-NPC-Umrichters
Fig. 1: Laboratory setup of a 3-level NPC converter

um dieses mit einem definierten Blindstrom zu stützen. Dieses „Durchfahren“ eines Netzfehlers wird als „Fault-Ride-Through“ (FRT) bezeichnet.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Verfahren entwickelt, das eine konventionelle *dq*-Stromregelung mit einer prädiktiven Regelung kombiniert. Dadurch wird ein sicheres Durchfahren von Netzfehlern ermöglicht, ohne dabei die Leistungshalbleiter durch transiente Stromspitzen zu überlasten. Das vorgestellte Verfahren ermöglicht auch den Einsatz alternativer Modulationsverfahren, wie beispielsweise offline optimierter Pulsmuster. Im Laufe der Arbeit wird gezeigt, dass dadurch eine signifikante Reduktion der Schaltfrequenz und der resultierenden Schaltverluste erreicht werden kann, ohne dabei das Netzfilter negativ zu beeinflussen.

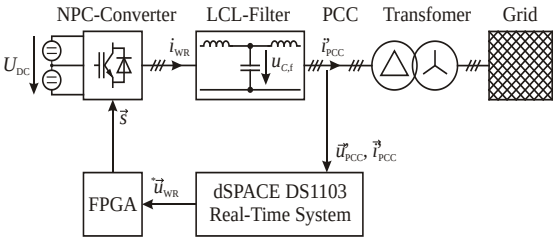


Abb. 2: Blockdiagramm des Laboraufbaus
Fig. 2: Block diagram of laboratory setup

Kontakt:

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

Das Institut
The Institute

Sitz des IAL im Welfenschloss der Leibniz Universität Hannover
IAL premises in the Guelph Palace of Leibniz Universität Hannover

Mitarbeiter des IAL

Auf den folgenden Seiten präsentieren sich die Mitarbeiter des IAL.

Nach zwei arbeitsreichen, aber auch sehr interessanten Jahren als Dekan der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik kann sich Prof. Mertens seit April 2015 wieder stärker seinen Aufgaben in Forschung und Lehre widmen. Prof. Ponick gehört auch weiterhin als Studiendekan für Elektrotechnik und Informationstechnik dem Dekanat der Fakultät an.

Die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter des IAL ist in den letzten beiden Jahren erneut leicht auf aktuell 41 gestiegen. Frau Wehner sowie die Herren Boseniuk, Brune, Dang, Fuchs, Juris und Merkert haben uns turnusmäßig nach vier bis fünf Jahren verlassen. Frau Dr. Stübig und Frau Haberjan sind in Prof. Ponicks Abteilung am Fraunhofer IWES gewechselt, wobei Frau Dr. Stübig dem IAL dadurch erhalten bleibt, dass sie die Vorlesung *Elektrische Klein- und Servoantriebe* auch weiterhin als Lehrauftrag in englischer Sprache für den Master-Studiengang *International Mechatronics* hält. An Neuzugängen freuen wir uns über Frau Zulk und die Herren Berweiler, Haschen, John, Kučka, Lücke, Müller, Rehfeldt, Sommer, Urbanek, Vip und Wohlers. Hervorzuheben ist auch, dass mit Frau Movagharnejad und den Herren Karimi und Raziee gleich drei Stipendiaten im Rahmen eines vom Land Niedersachsen geförderten kooperativen Promotionsprogramms am IAL begonnen haben. Alle drei haben sich inzwischen ausgezeichnet in das Institutsleben integriert.

Neuigkeiten gibt es auch aus dem Geschäftszimmer und der Werkstatt: Nach dem Ausscheiden von Frau Gewinner haben wir Frau Birgit Kalberlah für die administrativen Aufgaben in unserem Geschäftszimmer gewinnen können, so dass sich Frau Pieschel stärker den mittlerweile sehr umfangreichen Personalangelegenheiten widmen kann. Unser Werkstattmeister Herr Selke hat nun mit Herrn Sebastian Rudolph einen erfahrenen Mechaniker an seiner Seite, und die Elektrowerkstatt um die Herren Larivière und Winkler konnten wir nach dem Abschied von Herrn Grendler in den Ruhestand mit Herrn Andreas Heydecke und Herrn Tim Bergte verstärken, wobei Herrn Bergtes Hauptaufgabe in der Betreuung unseres neuen Großprüfstands in Marienwerder liegt.

Nicht zuletzt freuen wir uns, dass wir mit Herrn Hanno Lippert einen erfahrenen Systemadministrator gewinnen konnten – eine Verstärkung, die nicht zuletzt denjenigen Doktoranden wieder Zeit für ihre Forschungsarbeiten gibt, die diese Aufgabe in den letzten Jahren quasi nebenbei

Staff of IAL

In the following, we would like to present you our staff members.

Since April 2015, upon completion of two busy and interesting years as elected Dean of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Prof. Mertens is able again to spend more time on his tasks in research and teaching. As re-elected Academic Dean, Prof. Ponick is staying a member of the Dean's Office.

During the last two years, the number of research associates slightly increased to actually 41. Mrs. Wehner and Messrs. Boseniuk, Brune, Dang, Fuchs, Juris und Merkert left after four to five years research at IAL. Dr. Stübig and Mrs. Haberjan changed to Prof. Ponick's department at Fraunhofer IWES. Fortunately, Dr. Stübig continues to support the IAL by holding the lecture *Small Electrical Motors and Servo Drives* in English language for the Master course *International Mechatronics*. As our new research associates, we welcome Mrs. Zulk as well as Messrs. Berweiler, Haschen, John, Kučka, Lücke, Müller, Rehfeldt, Sommer, Urbanek, Vip und Wohlers. In addition, it is worth mentioning that three stipendiaries at a time, Mrs. Movagharnejad and Messrs. Karimi and Raziee, started at IAL within the scope of a cooperative PhD program funded by the Land Lower Saxony. Meanwhile, all of them are very well integrated in the team.

There are also some news about our office and technical staff: After the leave of Mrs. Gewinner, we are glad to welcome Mrs. Birgit Kalberlah, responsible for all administrative tasks, which gives Mrs. Pieschel the opportunity to deal to a greater extent with the wide range of human resources activities. Mr. Selke, the foreman of our machine shop, is now receiving assistance through Mr. Sebastian Rudolph, an experienced mechanic. After the retirement of Mr. Grendler, Messr. Larivière and Winkler, belonging to our electric shop, are supported by Mr. Andreas Heydecke and Mr. Tim Bergte. Mr. Bergte's main task is to manage our new large-scale test bench at Marienwerder.

Last but not least, we are glad that we could recruit Mr. Hanno Lippert, an experienced system administrator, to back up our staff. This is especially welcome by those PhDs who did this job in the past additionally to their normal work load and who can now fully concentrate on their research tasks.

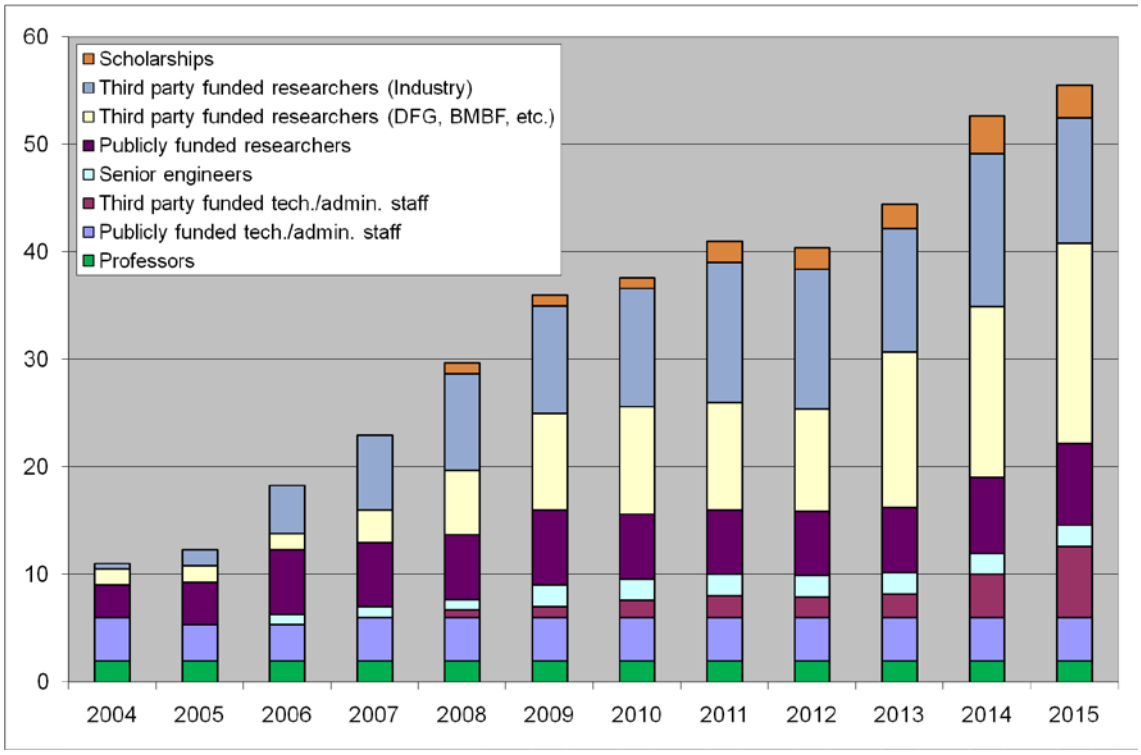
Dr. Hofstetter was not able to renew his lectureship for *Electrical Traction and Vehicle Drives* for personal reasons. We would like to thank him very much for the last years of education at IAL. At the same time, we are glad to announce that our alumnus Dr. Georg Möller is continuing this popular lecture since summer term 2014. He has already held this lecture for some time in the nineties.

We are aware that the last years' success was mainly 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.

bewältigen mussten.

Herr Dr. Hofstetter konnte seinen Lehrauftrag für *Elektrische Bahnen und Fahrzeugantriebe* aus persönlichen Gründen nicht länger fortsetzen. Wir danken ihm für sein großes Engagement in den letzten Jahren. Gleichzeitig freuen wir uns, dass wir unseren Ehemaligen Herrn Dr. Georg Möller dafür gewinnen konnten, diese beliebte Lehrveranstaltung seit dem Sommersemester 2014 fortzuführen. Er hatte den Lehrauftrag ja bereits in den 1990er Jahren eine Zeitlang inne.

Uns ist bewusst, dass die Erfolge der vergangenen Jahre maßgeblich auf den hervorragenden Fähigkeiten und dem großartigen Engagement unserer Mitarbeiter in allen Bereichen beruhen. Dafür möchten wir an dieser Stelle ausdrücklich unsere Anerkennung und unseren besonderen Dank aussprechen.



Stand Dezember 2015 ♦ Updated December 2015

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 at Leibniz Universität Hannover until 2015
- Chairman of the Leibniz Research Centre Energy 2050 (LiFE 2050) 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

- Since 2005 member and since 2016 convenor of K 311 committee “Rotating Electrical Machines“ of the DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE
- 2007 to 2016 chairman of the IEC/TC 2 “Rotating Machinery”, being responsible for the international standardization of rotating electrical machines
- Since 2006 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"
- Since 2007 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)
- Since 2012 elected member of the German Research Foundation (DFG) Review Board "Electrical Engineering"

Professoren ♦ Professors

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

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

Professoren i.R. ♦ Retired Professors

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

Gastdozenten ♦ External Lecturers

Dr. M.L.E.
Kai Gent

Dr. rer. nat.
Peter Kanschat

Dr.-Ing.
Georg Möller

Dr.-Ing.
Cornelia Stübig

Leibniz Forschungszentrum Energie 2050
Leibniz Research Centre Energy 2050

Dr.-Ing.
Volker Schöber

Oberingenieure ♦ Senior Engineers

Dr.-Ing.
Robert Meyer

Dr.-Ing.
Jörn Steinbrink

Verwaltungsteam ♦ Administrative Staff

ReNo-Fachangestellte
Birgit Kalberlah

Dipl.-Jur.
Beate Pieschel

Betriebswirtin
N. Schulz-Meden

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

Technische Mitarbeiter ♦ Technical Staff

Elektroniker
Tim Bergte

Elektroniker
Andreas Heydecke

Dipl.-Ing. (FH)
Clemens Larivière

Fachinformatiker
Hanno Lippert

Industriemechaniker
Sebastian Rudolph

Industriemeister
Carsten Selke

Elektroniker
Torsten Winkler

Wissenschaftliche Mitarbeiter ♦ Research Associates

M.Sc.
Björn Berweiler

M.Sc.
D. Bresemann

M.Sc.
Eva Bresemann

Dipl.-Ing.
René Dietz

Dipl.-Ing.
Michael Dörbaum

Dipl.-Ing.
Peter Dück

Dipl.-Ing.
Kacper Emmrich

M.Sc.
Elmar Haschen

M.Sc.
Hannes Heseding

Dipl.-Ing.
Malte von Hofen

Dipl.-Ing.
Malte John

Dipl.-Ing.
Jonathan Jürgens

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

Ing.
Jakub Kučka

M.Sc.
Stefan Lücke

Wissenschaftliche Mitarbeiter ♦ Research Associates

Dipl.-Ing.
Onur Misir

Dipl.-Ing.
Marcel Moriße

M.Sc.
Hedieh Movagharnejad

Dipl.-Ing.
Jan Müller

Dipl.-Ing.
Felix Müller-Deile

Dipl.-Ing.
Gerrit Narjes

Dipl.-Ing.
Fabian Oelkers

Dipl.-Ing.
F. Quattrone

M.Sc.
Morteza Raziee

M.Sc.
Alexander Rehfeldt

Dipl.-Ing.
Henrik Schroeder

M.Sc.
Christian Sommer

Dipl.-Ing.
Bernhard Ullrich

M.Sc.
Stefan Urbanek

M.Sc.
Stephan-Akash Vip

M.Sc.
Bastian Weber

Dipl.-Ing.
Niklas Weber

M.Sc.
Simon Weber

M.Sc.
Constantin Wohlers

Dipl.-Ing.
Silvia Zulk

Ehemalige Mitarbeiter und Doktoranden 2014/2015

Former Staff Members and PhDs 2014/2015

Dipl.-Ing.
Florian Boseniuk
wiss. Mitarbeiter
Research ass.

Dipl.-Ing.
André Brune
wiss. Mitarbeiter
Research ass.

Dipl.-Ing.
Lan Dang Hung
wiss. Mitarbeiter
Research ass.

Dipl.-Ing.
Felix Fuchs
wiss. Mitarbeiter
Research ass.

M.A.
Mirka Gewinner
Verwaltung
Administration

MSR-Techniker
Udo Grendler
Tech. Angestellter
Technical staff

Dipl.-Ing.
Lena Haberjahn
wiss. Mitarbeiterin
Research ass.

Dr.-Ing.
Matthias Hofstetter
Gastdozent
External Lecturer

Dipl.-Ing.
Peter Juris
wiss. Mitarbeiter
Research ass.

Dipl.-Ing.
Arvid Merkert
wiss. Mitarbeiter
Research ass.

Dipl.-Ing.
Meike Wehner
wiss. Mitarbeiterin
Research ass.

Chronik 2014/2015

Chronicle 2014/2015

Januar 2014

01.01.
Stefan Lücke und Christian Sommer beginnen als Assistenten am IAL.

09.01.
Das IAL erhält die eUP-Forschungsfahrzeuge im Rahmen des Schaufensterprojekts QuiCar - Elektrisch.

16.-19.01.
Strategieworkshop in Marianska (Erzgebirge), Erholungsheim der Tschechischen Akademie der Wissenschaften Prag

Februar 2014

01.02.
Malte John beginnt als Assistent und Morteza Raziee als Stipendiat am IAL.

10.02.
Hedieh Movagharnejad beginnt als Stipendiatin am IAL.

24.02.
Motivationsseminar für die Studenten

27.02.
Den E.ON Future Award 2013 erhalten Dr. Lennart Baruschka für seine Dissertation und Jan-Niklas Weber für seine Diplomarbeit.

28.02.
Letzter Arbeitstag von Dr. Cornelia Stübig vor ihrem Wechsel zum Fraunhofer IWES.

März 2014

21.03.
Instituts- und Festkolloquium zu Ehren von Prof. Hans Otto Seinsch mit informativen und unterhaltsamen Vorträgen von Prof. Gerhard Huth, Prof. Andreas Kremser und Prof. Carsten Fräger.

31.03.
Spieleabend für alle Frauen und Männer des IAL im Men's Club Hannover

April 2014

01.04.
Dr. Georg Möller übernimmt ab dem Sommersemester 2014 als externer Lehrbeauftragter die Vorlesung „Elektrische Bahnen und Fahrzeugantriebe".

03.04.
Jonathan Jürgens erhält den DRIVE-E-Studienpreis 2014 für seine Diplomarbeit.

10.-11.04.
Prof. Ponick hält einen Vortrag auf der Bildungskonferenz im Rahmen der Hannover-Messe.

30.04.
Udo Grendler geht in den Ruhestand.

Mai 2014

01.05.
Silvia Zulk beginnt als Assistentin am IAL.

15.05.
Posterbeitrag von Peter Dück im Rahmen des 6. E-Motive-Expertenforums in Wolfsburg

22.05.
Vorträge auf dem Expertentag der ATB von Prof. Seinsch und Prof. Ponick

25.-27.05.
Christian Sommer und Bastian Weber nehmen am Tutorial und Workshop ISiCPEAW 2014 in Stockholm teil.

28.05.
Doktorprüfung von Emine Bostanci

31.05.
Letzter Arbeitstag von Lena Haberjan vor ihrem Wechsel zum Fraunhofer IWES.

Juni 2014

01.-04.06.
Posterbeitrag von Onur Misir auf der 23. ISIE 2014 in Istanbul, Türkei

04.06.
Teilnahme am Hochschulsportfest mit dem IAL-Fußballteam

10.-13.06.
Pfingstexkursion in Norddeutschland zu den Firmen Enercon (Aurich), Meyer Werft (Papenburg), LDW (Bremen), SmartRegion Pellworm und NXP (Hamburg)

17.06.
Doktorprüfung von Jan-Peter Jastrzembski

18.-19.06.
Prof. Ponick hält einen Vortrag auf der WMM 2014 in Cardiff, UK.

18.-20.06.
Meike Wehner und Florian Boseniuk halten Vorträge auf der Konferenz SPEEDAM in Ischia, Italien.

20.06.
Johannes Heseding erhält den Wilhelm-Launhardt-Preis der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der LUH für seine Masterarbeit.

24.06.
Vortrag von Prof. Ponick auf der Coil Winding Messe (CWIEME) in Berlin

24.-26.06.
Auf der PEDG 2014 in Galway, Irland, stellen Felix Fuchs und Dennis Karwatzki ihre Forschungsergebnisse vor.

27.06.
Prof. Mertens, Dennis Karwatzki, Stefan Lücke, Robert Meyer und Simon Weber nehmen zum wissenschaftlichen Austausch zwischen Leistungselektronikinstituten verschiedener Universitäten am LE Nord-Kolloquium in Hamburg teil.

30.06.
Letzter Arbeitstag von Mirka Gewinner

Juli 2014

01.07.
Hanno Lippert beginnt als Systemadministrator am IAL.

01.07.
Im Rahmen des Clusters Leistungselektronik im ECPE leiten Prof. Ponick und Dr. Wilhelm Hackmann (Continental) in Nürnberg den Workshop „Die fremderregte Synchronmaschine“, u.a. mit einem Vortrag von Henrik Krupp.

01.-02.07.
Dr. Baruschka und Dennis Karwatzki nehmen mit zwei Vorträgen am ECPE-Workshop “Advanced Multicell / Multilevel Power Converters“ in Toulouse, Frankreich, teil.

07.07.
Freiluftseminar und Grillen für die studentischen Hilfskräfte

14.-18.07.
Exkursion im Rahmen der Bahnenvorlesung zur Firma Siemens nach Nürnberg

August 2014

01.08.
Birgit Kalberlah beginnt als Sekretärin und Andreas Heydecke als Elektriker im IAL.

02.08.
Das Team HorsePower beteiligt sich mit dem Rennwagen eH14 an der Formula Student Germany.

26.-28.08.
Vortrag von Tobias Krone und Posterbeitrag von Dennis Karwatzki auf der EPE’14-ECCE Europe, Lappeenranta, Finnland

31.08.
Das Team HorsePower beteiligt sich mit dem Rennwagen eH14 an der Formula Student Spain.

31.08.-05.09.
Henrik Schroeder und Christian Sommer bereichern die Talenteakademie mit einem Projekt zum Bau von Quadrokoptern.

September 2014

01.09.
Sebastian Rudolph beginnt als Industriemechaniker am IAL.

Tristan Winkel kommt für ein Jahr im Rahmen des Jugendfreiwilligendienstes als FWJler ans IAL.

01.09.
Betriebsausflug mit Kanu-Rundtour auf Ihme und Leine

02.-05.09.
Vorträge und Poster von Kacper Emmrich, Jonathan Jürgens und Olga Korolova auf der ICEM 2014 in Berlin mit Prof. Ponick als Technical Chair. Jonathan Jürgens wird mit dem Best Poster Presentation Award prämiert.

03.-04-09.
Das IAL ist Mitveranstalter der International Wind Engineering Conference IWEC in Hannover mit Vorträgen von Felix Fuchs, Robert Meyer und Meike Wehner.

08.-12.09.
Seminar zum Thema “Electrical Machines, Drives and Power Electronics“ in Prag im Rahmen des Symposiums des IAL mit dem Institut für Thermomechanik der Tschechischen Akademie der Wissenschaften, Prag, mit Vorträgen von Rashid Karimi, Olga Korolova, Jaroslav Koupený, Malte John und den weiteren Teilnehmern Stefan Lücke, Robert Meyer und Prof. Ponick.

10.-14.09.
Anbahnungstreffen für eine zukünftige Universitätskooperation an der University of Wisconsin in Madison mit Prof. Mertens

14.-18.09.
Vorträge und Poster auf der ECCE 2014 in Pittsburgh, PA, USA, von Felix Fuchs, Malte John, Dennis Karwatzki, Christian Sommer und Simon Weber mit Prof. Mertens

17.-18.09.
Jaroslav Koupený hält einen Vortrag auf dem SIMPEP-Kongress der FVA in Lahnstein/Koblenz.

23.-24.09.
Beteiligung des IAL an den Hochschulinformationstagen HIT

30.09.-01.10.
Kacper Emmrich hält einen Vortrag zum Thema Energieeffizienz auf dem 13. Technischen Tag der VEM-Gruppe in Wernigerode.

Oktober 2014

01.10.
Dirk Braunisch erhält auf der CIGRE/CIRED den ETG-Literaturpreis 2014.

08.-10.10.
Ausrichtung des FEMAG-Anwendertreffens in den Räumen der LUH mit über 130 Teilnehmern aus Forschung und Industrie sowie Vorträgen von Prof. Ponick, Dr. Jörn Steinbrink und André Brune, Peter Dück, Kacper Emmrich, Olga Korolova und Francesco Quattrone.

10.-17.10.
Exkursion zur Purdue University in West Lafayette, IN, USA, im Rahmen des Capstone-Projekts von Francesco Quattrone und Silvia Zulk mit vier Studenten

14.10.
NFF-VIP-Vortrag durch Dr. Eckhard Scholz an der LUH, organisiert durch LiFE 2050 (Dr. Volker Schöber) und das IAL.

21.-22.10.
Posterpräsentation und Vortrag von Henrik Krupp vor dem ECPE Project Coordination Committee (PCC) in München

30.10.
Doktorprüfung von Robert Meyer

30.10.-01.11.
Vortrag von Dennis Karwatzki bei der 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2014), Dallas, USA

November 2014

15.11.
Beteiligung an der Nacht der Wissenschaft

20.-21.11.
Prof. Mertens und Prof. Ponick halten das HDT-Seminar „Wechselwirkungen Motor – Frequenzumrichter" in Essen.

27.11.
Dr. Robert Meyer und Marcel Moriße nehmen am 2. Workshop zum Innovationscluster Leistungselektronik in Itzehoe teil.

Dezember 2014

05.12.
Tag der Fakultät

08.12.
CTI-Symposium in Berlin mit Vorträgen von Prof. Mertens und Prof. Ponick

12.12.
Internationales Jahresabschlusskolloquium des IAL im Leibnizhaus mit Projektpartnern, aktiven und ehemaligen Mitarbeitern sowie den Studenten des Instituts

Januar 2015

01.01.
Jakub Kučka und Jan Müller beginnen als Assistenten am IAL.

14.01.
Dr. Frank Jurisch hält Vorträge zu weich- und hartmagnetischen Materialien und zusammenhängenden Themen wie der Berechnung von Ummagnetisierungsverlusten im Rahmen eines Doktorandenkolloquiums am IAL.

08.-11.01.
Strategieworkshop in Marianska (Erzgebirge), Erholungsheim der Tschechischen Akademie der Wissenschaften Prag

30.01.
Exkursionen zu den Firmen Bosch, Hildesheim, und LDW, Bremen

Februar 2015

15.02.
Björn Berweiler beginnt als Assistent am IAL.

28.02.
Letzter Arbeitstag von André Brune und Florian Boseniuk

März 2015

01.03.
Errichtung der E-Ladesäule vor dem Gebäude des IAL

12.-13.03.
Vortrag von Michael Dörbaum auf der VDI Mechatroniktagung 2015 in Dortmund

24.03.
IAL-Bowlingabend am Maschsee

31.03.
Letzter Arbeitstag von Peter Juris

Ende der Amtsperiode von Prof. Mertens als Dekan

April 2015

10.-13.04.
Klausurtagung des IAL mit Open Space Workshop auf Wangerooge

14.04.
Workshop zu Kommunikationstechniken für studentische Hilfskräfte und Abschlussarbeiter am IAL

20.-22.04.
Prof. Mertens nimmt in Washington an einem Workshop der NSF, DFG, JST und RCN über verteilte Energiemanagement-Systeme teil und hält einen Vortrag zum Einfluss von Umrichtern auf das elektrische Netz.

23.-24.04.
Seminar von Prof. Mertens und Prof. Ponick zu „Wechselwirkungen zwischen Motor und Frequenzumrichter“ im Haus der Technik, München

29.04.
Im Rahmen des Mechatronik-Kolloquiums der Vortragsreihe des MZH halten, organisiert durch das IAL, Prof. Sven Exnowski und Prof. Stefan Kulig Gastvorträge zum Thema Wicklungskopfkräfte.

Mai 2015

08.05.
Olga Korolova wird für ihre Masterarbeit mit dem SEW-Eurodrive-Stiftungspreis ausgezeichnet.

10.-13.05.
Vortrag von Jonathan Jürgens auf der International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC) 2015 in Coeur d’Alène, ID, USA

12.05.
Das IAL organisiert das Leistungselektronische Kolloquium Nord in Hannover; Vortragender ist u.a. Jakub Kučka.

18.05.
Gegenbesuch der Capstone-Gruppe der Purdue University aus den USA in Hannover

29.-30.05.
Prof. Mertens nimmt am German-Korean Power Electronics Symposium an der National University in Seoul teil und hält einen Vortrag über funktionssichere PMSM-Antriebe für E-Fahrzeuge.

31.05.
Letzter Arbeitstag von Meike Wehner

Juni 2015

01.06.
Tim Bergte beginnt als Prüffeldleiter des GeCoLab in Marienwerder und Elmar Haschen als Assistent am IAL.

01.-05.06.
Teilnahme von Prof. Mertens an der ICPE 2015 - ECCE ASIA in Seoul, Korea; Dennis Karwatzki hält einen Vortrag.

09.-10.06.
Im Rahmen des 7. E-Motive-Expertenforums in Maisach halten Peter Dück und Francesco Quattrone Vorträge.

10.06.
Teilnahme am Hochschulsportfest mit zwei „Immer am Limit"-Teams in den Sparten Fußball und Beachvolleyball

12.06.
Felix Fuchs, Malte von Hofen, Jakub Kučka, Dr. Robert Meyer, Marcel Moriße, Hedieh Movagharnejad und Simon Weber fahren mit Prof. Mertens zum fachlichen Austausch und Kolloquium zum Fraunhofer IWES nach Kassel.

15.06.
Doktorprüfung von Eike Garbe

15.-16.06.
Tobias Krone nimmt mit einem Posterbeitrag an der vom BMWi ausgerichteten Nationalen Konferenz Elektromobilität in Berlin teil.

22.06.
Bei der IQPC All Wheel Drive Conference in Frankfurt hält Tobias Krone einen Vortrag.

22.06.
Im Rahmen des Programms "Green Talents" des DAAD beginnt Dr. Patricio A. Mendoza Araya aus Santiago, Chile, seine zweimonatige Forschungstätigkeit als Gastwissenschaftler am IAL zum Thema Microgrids.

26.06.
Verleihung des Stiftungspreises der Hanns-Voith-Stiftung an Frederic Dobbert für seine Masterarbeit

Juli 2015

01.07.
Doktorprüfung von Dirk Braunisch

04.-12.07.
Teilnahme des IAL und Standbetreuung des Zukunftsmobils der Fakultät auf der IdeenExpo 2015

12.07.
Das Team HorsePower beteiligt sich mit dem Rennwagen eH15 an der Formula Student UK.

22.07.
Exkursion im Rahmen der Bahnenvorlesung zur Firma Siemens nach Nürnberg

25.-31.07.
Elmar Haschen und Jan-Kaspar Müller bereichern die Talenteakademie mit einem Projekt zum Bau von Quadrokoptern.

27.07.
Betriebsausflug mit Segeln auf dem Steinhuder Meer

30.07.
Freiluftseminar und Grillen für die studentischen Hilfskräfte

31.07.
Letzter Arbeitstag von Lan Dang Hung

August 2015

24.08.
Das Team HorsePower beteiligt sich mit dem Rennwagen eH15 an der Formula Student Czech Republic.

31.08.
Letzter Arbeitstag von Felix Fuchs

September 2015

01.09.
Julius Peters kommt als Teilnehmer am Freiwilligen Wissenschaftlichen Jahr ans IAL.

01.-04.09.
Vortrag von Onur Misir auf der SEMPED 2015 in Guarda, Portugal

03.09.
Das Team HorsePower beteiligt sich mit dem Rennwagen eH15 an der Formula Student Spain.

08.-10.09.
Vorträge und Posterpräsentation von Dr. Lennart Baruschka, Dennis Kaczorowski, Dennis Karwatzki, Jaroslav Koupený, Jakub Kučka, Stefan Lücke und Fabian Oelkers auf der EPE'15 ECCE EUROPE in Genf, Schweiz.

14.-15.09.
Vorstellung von Forschungsergebnissen von Michael Dörbaum auf der IKMT 2015 in Köln

15.-16.09.
Vortrag und Präsentation von Francesco Quattrone auf der EDPC 2015 in Nürnberg

15.-16.09.
Vortrag von Prof. Ponick auf dem 14. Technischen Tag der VEM-Gruppe in Wernigerode zum Thema „Oberschwingungsverhalten von Synchrongeneratoren"

15.-16.09.
Beteiligung des IAL an den Hochschulinformationstagen HIT

16.09.
Marcel Moriße hält auf der Husum-Wind 2015 einen Vortrag zum Thema „Leistungselektronik in der Windenergie – Forschungsthemen am IAL“.

20.-24.09.
Vortrag von Dennis Karwatzki und Posterbeiträge von Tobias Krone und Jakub Kučka auf der ECCE 2015 in Montreal, Canada, begleitet von Prof. Mertens.

21.–23.09.
Posterbeitrag von Onur Misir auf der EDPE 2015 in Tatranská Lomnica, Slowakei

Oktober 2015

01.10.
Dr. Cornelia Stübig vom Fraunhofer IWES übernimmt ab dem Wintersemester 2015/16 als externe Lehrbeauftragte die Vorlesung "Small Electrical Motors and Servo Drives“ im Masterstudiengang International Master of Mechatronics der LUH.

05.10.
Vortrag von Prof. Ponick auf der Summer School der Fakultät

10.10.
Sponsorenfahren des HorsePower-Teams

15.10.
Constantin Wohlers beginnt als Assistent am IAL.

19.-22.10.
Konferenz VPPC 2015 in Montreal, Canada, mit Vorträgen von Henrik Krupp, Francesco Quattrone, Fabian Oelkers, Peter Dück und Silvia Zulk

21.-22.10.
ECPE-Workshop "Drivers, Control and Protection Circuits for MOSFETs and IGBTs" in Hannover unter der Leitung von Prof. Mertens mit Vorträgen von Simon Weber und Prof. Mertens

27.-29.10.
Ausrichtung des FEMAG-Anwendertreffens in Leutkirch/Allgäu mit über 130 Teilnehmern aus Forschung und Industrie sowie Vorträgen von Prof. Ponick, Francesco Quattrone und Dr. Jörn Steinbrink.

November 2015

15.11.
Stefan Urbanek beginnt als Assistent am IAL.

20.11.
Besuch des SPD-Wissenschaftsforums am IAL zur Vorstellung des Themas E-Mobilität mit Diskussionen und einem Rundgang durch das Institut

17.-18.11.
Posterpräsentation von Jaroslav Koupený auf dem International ETG Congress 2015 „Die Energiewende“ in Bonn

30.11.
Letzter Arbeitstag von Arvid Merkert

Dezember 2015

02.12.
Christian Sommer hält einen Vortrag auf der FVA Infotagung in Würzburg.

04.12.
Tag der Fakultät

09.12.
Björn Berweiler erhält den CTI Young Drive Experts Award für seine Masterarbeit.

11.12.
Internationales Jahresabschlusskolloquium im Leibnizhaus mit Projektpartnern, aktiven und ehemaligen Mitarbeitern sowie den Studenten des Instituts

01.01.2016
Alexander Rehfeldt und Stephan-Akash Vip beginnen als Assistenten am IAL.

Veröffentlichungen 2014/2015

Publications 2014/2015

Aufsätze in Fachzeitschriften 2014
Journal Articles 2014

Blank, M.; Calabria, M.; Dietz, R.; Fuchs, F.; Klingenberg, T.; Lehnhoff, S.; Mertens, A.; Schumacher, W.

Agentenbasierte Vorhaltung und Erbringung von Primärregelleistung

Automatisierungstechnik, vol. 62, no. 5, pp. 347-363, 2014

Bostanci, E.; Neuschl, Z.; Plikat, R.; Ponick, B.

No-load Performance Analysis of Brushless DC Machines with Axially Displaceable Rotor

IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, iss. 4, pp. 1692-1699, 2014

Jürgens, J.; Brune, A.; Ponick, B.

„Weg von teuren Permanentmagneten“

Zeitschrift für die gesamte Wertschöpfungskette Automobilwirtschaft (ZfAW), Heft 4/2014, pp. 49-55, 2014

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

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

IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no. 5, pp. 2238-2245, 2014

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

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

IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 50, no. 5, pp. 3448-3456, 2014

Konferenzbeiträge 2014
Conference Articles 2014

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

A New Modular Multilevel AC/DC Converter Topology Applied to a Modular Multilevel DC/DC Converter

16th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE’14 ECCE Europe), Lappeenranta, Finland, pp. 1-10, 2014

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

Low-Speed Drive Operation of the Modular Multilevel Converter Hexverter Down to Zero Frequency

IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Pittsburgh, PA, U.S.A., pp. 5407-5414, 2014

Boseniuk, F.; Ponick, B.

Parameterization of Transient Thermal Models for Permanent Magnet Synchronous Machines Exclusively Based on Measurements

International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), Ischia, Italy, pp. 295-301, 2014

Emmrich, K.

Energieeffizienz - im System ggf. ganz anders, als es die Komponente verspricht

13. Technischer Tag der VEM-Gruppe, Wernigerode, Germany, 2014

Emmrich, K.; Brune, A.; Ponick, B.

Evaluation of an Analytical, Efficiency-Optimized Torque-Speed Characteristic of Induction Machines Coupled with a Thermal-Electromagnetic Energy Consumption Calculation

International Conference on Electrical Machines (ICEM), Berlin, Germany, pp. 762-767, 2014

Fuchs, F.; Dietz, R.; Garske, S.; Breithaupt, T.; Mertens, A.; Hofmann, L.

Challenges of Grid Integration of Distributed Generation in the Interdisciplinary Research Project Smart Nord

5th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Galway, Ireland, pp. 1-7, 2014

Fuchs, F.; Mertens, A.

Prediction and Avoidance of Grid-Connected Converter's Instability Caused by Wind Park Typical, Load-Varying Grid Resonance

IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Pittsburgh, PA, U.S.A., pp. 2633-2640, 2014

Gröninger, M,; Horch, F.; Kock, A.; Jakob, M.; Ponick, B.

Cast Coils for Electrical Machines and Their Application in Automotive and Industrial Drive Systems

4th International Electric Drives Production Conference (EDPC), Nürnberg, Germany, pp. 1-7, 2014

Jürgens, J.; Brune, A.; Ponick, B.

Electromagnetic Design and Analysis of a Salient-Pole Synchronous Machine with Tooth-Coil Windings for Use as a Wheel Hub Motor in an Electric Vehicle

International Conference on Electrical Machines (ICEM), Berlin, Germany, pp. 744-750, 2014

Karwatzki, D.; Baruschka, L.; Kučka, J.; von Hofen, M.; Mertens, A.

Improved Hexverter Topology with Magnetically Coupled Branch Inductors

16th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'14 ECCE Europe), Lappeenranta, Finland, pp. 1-10, 2014

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

Optimised Operation Mode for the Hexverter Topology Based on Adjacent Compensating Power

IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Pittsburgh, PA, U.S.A., pp. 5399-5406, 2014

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

Branch Energy Control for the Modular Multilevel Converter Hexverter

IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Pittsburgh, PA, U.S.A., pp. 1613-1622, 2014

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

Operation of Modular Multilevel Matrix Converters with Failed Branches

40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2014), Dallas, TX, U.S.A., pp. 1650-1656, 2014

Kock, A.; Gröninger, M.; Mertens, A.

Modeling and Optimized Control of Fault-tolerant Drive Topologies for Electric Vehicle Applications

International Conference on Electrical Machines (ICEM), Berlin, Germany, pp. 2372-2379, 2014

Korolova, O.; Dück, P.; Brune, A.; Jürgens, J.; Ponick, B.

Prediction of Efficiency-Optimized Salient-Pole Synchronous Machines' Operating Range Using a Coupled Numerical-Analytical Method

International Conference on Electrical Machines (ICEM), Berlin, Germany, pp. 871-876, 2014

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

Universelles Werkzeug zur Steigerung der Energieeffizienz von technischen Prozessen am Beispiel eines Prozesskühlsystems mit elektrischer Antriebstechnik

SIMPEP-Kongress Koblenz, Germany, 2014

Koupený, J.; Mertens, A.

Offline and Online Parameter Estimation of Controlled Electric Drives

Symposium with the Institute of Thermomechanics of the Academy of Sciences in Prague, Czech Republic, 2014

Krone, T.; Köneke, T.; Mertens, A.

System Design for Junction Temperatures up to 200°C

16th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'14 ECCE Europe), Lappeenranta, Finland, pp. 1-10, 2014

Misir, O.; Ponick, B.

Analysis of Three-Phase Machines with Combined Star-Delta Windings

23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Istanbul, Turkey, pp. 756-761, 2014

Sommer, C.; Merkert, A.; Mertens, A.

A New Control Method for Minimizing the DC-Link Capacitor Current of HEV Inverter Systems

IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Pittsburgh, PA, U.S.A., pp. 1188-1193, 2014

Weber, S.; Merkert, A.; Mertens, A.

Gate Driver for Safe Operation of Depletion Mode SiC JFETs

IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Pittsburgh, PA, U.S.A., pp. 5716-5722, 2014

Wehner, M.; Ponick, B.

Search Coil Systems for Early Fault Detection in Wind Turbine Generators

International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automotion and Motion (SPEEDAM), Ischia, Italy, pp. 273-278, 2014

Buchbeiträge 2014
Books 2014

Bostanci, E.:

Performance Analysis of Brushless DC Machines with Axially Displaceable Rotor

Dissertation, AutoUni-Schriftenreihe, Band 64, Logos Verlag Berlin GmbH, 2014

Jastrzembski, J.-P.:

Synchrone Linear-Direktantriebe für Förderbänder

Dissertation, VDI-Fortschrittsbericht Nr. 412, Reihe 21, Elektrotechnik, VDI-Verlag, 2014

Meyer, K. R.:

Fault-Ride-Through-Regelung von Windenergieanlagen mit Vollumrichter und LCL-Netzfilter

TIB Hannover, Univ., Diss., Online-Ress. 2014, http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dh14/812759397.pdf

Aufsätze in Fachzeitschriften 2015
Journal Articles 2015

Misir, O.; Dobbert, F.; Ponick, B.

Analytisch-numerische Berechnung des magnetischen Luftspaltleitwerts für den Läufer einer Schenkelpolsynchronmaschine

e & i Elektrotechnik und Informationstechnik, vol. 132, iss. 1, pp. 33-38, 2015

Mustafa, R.; Küçükay, F.; Boseniuk, F.; Ponick, B.; Tang, T.; Köhler, J.; Ullrich, B.; Mertens, A.

Innovative Electric Vehicle Modelling for Energy Management Applications

International Journal of Vehicle Design, vol. 68, no. 4, pp. 265-284, 2015

Teichel, S.H.; Dörbaum, M.; Misir, O.; Merkert, A.; Mertens, A.; Seume, J.R.; Ponick, B.

Design Considerations for the Components of Electrically Powered Active High-lift Systems in Civil Aircraft

CEAS Aeronautical Journal, vol. 6, no. 1, pp. 49-67, 2015

Konferenzbeiträge 2015
Conference Articles 2015

Dietz, R.; Mertens, A.

Extended Power Control for Distributed Generation Units

17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE EUROPE), Geneva, Switzerland, pp. 1-9, 2015

Dörbaum, M.; Tappe, S.; Kotlarski, J.; Ortmaier, T. ; Mertens, A.; Ponick, B.

Simulation and Measurement on a Novel Electromagnetic Tilting Actuator

VDI Mechatroniktagung 2015, Dortmund, Germany, 2015

Dörbaum, M.; Weber, S.; Strempel, J.; Winkel, T.; Mertens, A.; Ponick, B.

Comparison of Two Alternative Power Supply Strategies for an Electromagnetic Tilting Actuator

Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik (IKMT), Köln, Germany, pp. 71-76, 2015

Dück, P.; Jürgens, J.; Ponick, B.

Calculation of Synchronous Reluctance Machines Used as Traction Drives

IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2015), Montreal, Canada, pp. 1-5, 2015

Guseva, A.; Hoffmann, M.; Unger, A.; Zulk, S.; Amien, M.; Sarradj, E.; Kupnik, M.

Ultrasonic Transducer Characterization in Air Based on an Indirect Acoustic Radiation Pressure Measurement

International Ultrasonic Symposium (IUS), Taipei, Taiwan, pp. 1-4 , 2015

Jürgens, J; Ponick, B.

Eignung von synchronen Reluktanzmaschinen und permanenterregten Synchronmaschinen ohne Seltenerdmagnete als Fahrzeugantriebe

2. NFF-Doktorandentag, Braunschweig, Germany, 2015

Jürgens, J.; Winter, O.; Fricassé, A.; Ponick, B.

Influences of Iron Loss Coefficients Estimation on the Prediction of Iron Losses for Variable Speed Motors

IEEE International Electrical Machines and Drives Conference (IEMDC), Coeur d'Alène, ID, U.S.A., 2015

Kaczorowski, D.; Michalak, B.; Mertens, A.

A Novel Thermal Management Algorithm for Improved Lifetime and Overload Capabilities of Traction Converters

17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE EUROPE), Geneva, Switzerland, pp. 1-10, 2015

Karwatzki, D.; Baruschka, L.; Kučka, J.; Mertens, A.

Current Control and Branch Energy Balancing of the Modular Multilevel Matrix Converter

IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2015), Montreal, Canada, pp. 6360-6367, 2015

Karwatzki, D.; Baruschka, L.; Mertens, A.

Survey on the Hexverter Topology — A Modular Multilevel AC/AC Converter

9th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE-ECCE Asia), Seoul, Korea, pp. 1075-1082, 2015

Koupený, J.; Lücke, S.; Mertens, A.

Observer-Based Online Parameter Estimation of Squirrel-Cage Induction Machines Based on the Gradient Descent Method

17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE EUROPE), Geneva, Switzerland, pp. 1-10, 2015

Koupený, J.; Siebrecht, M.; Lücke, S.; Mertens, A.

Observer-Based Online Parameter Estimation of Doubly Fed Induction Generators Based on the Gradient Descent Method

ETG-Kongress Bonn, Germany, 2015

Krone, T.; Xu, C.; Mertens, A.

Fast and Easily Implementable Detection Circuits for Short-Circuits of Power Semiconductors

IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2015), Montreal, Canada, pp. 2715-2722

Krupp, H.; Mertens, A.

Rotary Transformer Design for Brushless Electrically Excited Synchronous Machines

IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2015), Montreal, Canada, pp. 1-6, 2015

Kučka, J.; Karwatzki, D.; Baruschka, L.; Mertens, A.

Improved Modular Multilevel Converter Topology with Magnetically Coupled Branch Inductors

IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2015), Montreal, Canada, pp. 3593-3600, 2015

Kučka, J.; Karwatzki, D.; Mertens, A.

Optimised Operating Range of Modular Multilevel Converters for AC/AC Conversion with Failed Modules

17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE Europe), Geneva, Switzerland, pp. 1-10, 2015

Misir, O.; Ponick, B.

Determination of the Inductances of a Salient-Pole Synchronous Machine without Damper Winding Based on the Voltage Equation of a Single Coil in the Stator Winding

10th IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED), Guarda, Portugal, pp. 117-123, 2015

Misir, O.; Ponick, B.

Determination of the Inductances of a Synchronous Machine with Unsymmetrical Stator Winding Based on the Voltage Equation of a Single Coil in the Stator Winding

18th International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE), Tatranska Lomnica, Slovakia, pp. 306-311, 2015

Oelkers, F.; Krone, T.; Rosen, A.; Mertens, A.

Implementation and Test of a Fault-Tolerant Wheel Hub Drive System for an Electric Vehicle

IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2015), Montreal, Canada, pp. 1-6, 2015

Oelkers, F.; Rosen, A.; Mertens, A.

Model-based Approach for Sensor Fault-tolerant Drive Systems

17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE Europe), Geneva, Switzerland, pp. 1-10, 2015

Quattrone, F.; Fricke, T.; Ponick, B.

Influence of Punch Edges on the Self-Sensing Capabilities

6th International Electric Drives Production Conference and Exhibition (EDPC 2015), Nürnberg, Germany, pp. 1-4, 2015

Quattrone, F.; Ponick, B.

Active Differential Inductance Control of Permanent Magnet Synchronous Machines Using Short-Circuited Rotor Coils

IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2015) Montreal, Canada, pp. 1-7, 2015

Rosen, A.; Gröninger, M.; Mertens, A.

Modeling and Optimized Control of Fault-tolerant H-bridge Fed Multiphase Drives

17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE Europe), Geneva, Switzerland, pp. 1-6, 2015

Stübig, C.; Seibel, A.; Schleicher, K.; Haberjan, L.; Kloepzig, M.; Ponick, B.

Electromagnetic Design of a 10 MW Permanent Magnet Synchronous Generator for Wind Turbine Application

IEEE International Electrical Machines and Drives Conference (IEMDC), Coeur d'Alène, ID, USA, 2015

Tappe, S.; Dörbaum, M.; Mertens, A.; Ponick, B.; Kotlarski, J.; Ortmaier, T.

The Kinematic Synthesis of a Spatial, Hyper-Redundant System Based on Binary Electromagnetic Actuators

6th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA 2015), Queenstown, New Zealand, pp. 211-216, 2015

Weber, B.; Wiedmann, K.; Mertens, A.

Increased Signal-to-noise Ratio of Sensorless Control Using Current Oversampling

9th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE-ECCE Asia), Seoul, Korea, pp. 1129-1134, 2015

Zhang, M.; Fräger, C.; Mertens, A.

Control and Modeling of a Novel Speed Variable Generator System for Hydroelectric Power Plants

International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management (PCIM Europe), Nürnberg, Germany, pp. 1-10, 2015

Zhang, M.; Fräger, C.; Mertens, A.

Control and Dynamic Behavior of the Double Generator System for Hydraulic Power Plants

6th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Aachen, Germany, pp. 1-7, 2015

Zulk, S.; Mertens, A.

Characterization of Dead Time Effects for Common-Mode-Reducing Modulation Methods

IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Montreal, Canada, pp. 1-6, 2015

Buchbeiträge 2015
Books 2015

Braunisch, D.

Kombinierte analytisch-numerische Berechnung der Magnetgeräusche elektrischer Maschinen

TIB Hannover, Univ., Diss., Online-Ress. 2015, http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dh15/831947675.pdf

Garbe, E.

Beeinflussung des Geräuschs von Induktionsmaschinen durch innovative Ständer- und Läufergeometrien

TIB Hannover, Univ., Diss., Online-Ress. 2015, http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dh15/842127003.pdf

Veranstaltungen 2014/2015

Events 2014/2015

2014

21.03.

Festkolloquium zu Ehren von Professor Seinsch im Leibnizhaus der LUH mit folgenden Vorträgen:

Fräger, C.

Wie funktioniert ein Elektromotor? Erstaunliche Informationen aus dem Internet

Huth, G.

Aus der Entwicklung der Servoantriebstechnik

Kremser, A.

In welche Richtung dreht das Grundfeld?

01.07.-02.07.

ECPE-Workshop „Die fremderregte Synchronmaschine“ in Nürnberg

Krupp, H.

Rotierender Gleichspannungswandler

Ponick, B.

Einführung in Aufbau, Funktionsweise, Eigenschaften der FESM

03.09.-04.09.

International Wind Engineering Conference (IWEC) in Hannover

Fuchs, F.

Aspects of Wind Turbine Converter Related Research

Meyer, R.

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

Wehner, M.

Search Coil Systems for Early Fault Detection in Wind Turbine Generators

09.09.-11.09.

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

Jürgens, J.; Brune, A.; Ponick, B.

Innovative Salient-Pole Synchronous Machine for Use as a Wheel Hub Motor in an EV

Weber, J.-N.

Rotary Transformer for Brushless Excitation of Synchronous Machines

Quattrone, F.

Design of a Permanent Magnet Synchronous Machine for Self-Sensing Control at Low and Zero Speed

Valouch, V.; Bejvl, M.; Šimek, P.; Škramlik, J.:

Power Control of Converter Connected to Unbalanced Grid

Musálek, L.:

Rotational Induction Heating Device with External Rotor

Gruber, J; Šonský, J.; Hlína, J.:

Analysis of Thermal Plasma Radiation by Fourier Transform, Wavelet Analysis and Phase Portraits

Škramlik, J.; Šimek, P.; Bejvl, M.; Valouch, V.:

Analytical Closed-Form Solution of Current Responses of Multilevel Converter Connected to Unbalanced Grid

Schreier, L.; Bendl, J.; Chomát, M.:

Mathematical Description of Combined Stator Winding of Induction Machines

Korolova, O.:

Prediction of Efficiency-Optimized Salient-Pole Synchronous Machines' Operating Range Using a Coupled Numerical-Analytical Method

John, M.:

Small Signal Impedance Measurement in Droop Controlled AC Microgrids

Karimi, R., Mertens, A.:

Multi-Phase Interleaved DC/CC Convertors for Electric Vehicle Applications

Koupený, J., Mertens, A.:

Offline and Online Parameter Estimation of Controlled Electric Drives

Lücke, S.:

Sensorless Speed Estimation of Induction Machines

08.10.-10.10.

FEMAG-Anwendertreffen 2014 mit Exkursion zu Baker Hughes und mit folgenden Vorträgen in Hannover:

Korolova, O.:

Gekoppelt analytisch-numerische Berechnung von Schenkelpol-Synchronmaschinen (SPOK)

Ponick, B.

Normative Anforderungen an elektrische Maschinen - aktuelle Entwicklung und deren Konsequenzen für Hersteller und Anwender

Quattrone, F.

Entwicklungsumgebung FESI - Entwicklung und Test eigener Berechnungsfunktionen

Weickhmann, M.; Steinbrink, J.:

Untersuchungen zu PMSM mit verschieden orientierten Magneten - Vergleich, Messung und Rechnung - Potentiale und Grenzen

2015

12.05.

Leistungselektronisches Kolloquium Nord in Hannover

Kučka, J.:

Modulare Multilevel-Umrichter für Windenergiesysteme: Dimensionierung und Redundanz

21.10.-22.10.

ECPE-Workshop "Drivers, Control and Protection Circuits for MOSFETs and IGBTs" in Hannover

Mertens, A.

Enhanced Functionality of Gate Units by Progress of Analog and Digital Electronics

Weber, S.

Estimation of the IGBT Junction Temperature with Temperature Sensitive Parameters

27.10.-29.10.

FEMAG-Anwendertreffen 2014 in Leutkirch mit folgenden Vorträgen:

Ponick, B.

Lagerströme in elektrischen Maschinen - Ursachen und Gegenmaßnahmen

Quattrone, F.

Gestaltung von PMSM für die geberlose Regelung

Weickhmann, M.; Steinbrink, J.:

Ergebnisse der Untersuchungen zu PMSM mit verschieden orientierten Magneten - Fortführung des Vorjahresthemas

Auszeichnungen 2014/2015

Awards 2014/2015

2014

27.02.

Den E.ON Future Award 2013 erhalten Dr.-Ing. Lennart Baruschka für seine Dissertation und Jan-Niklas Weber für seine Diplomarbeit.

03.04.

Jonathan Jürgens erhält den DRIVE-E-Studienpreis 2014 für seine Diplomarbeit.

20.06.

Johannes Heseding erhält den Wilhelm-Launhardt-Preis der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der LUH unter den besten Absolventen für seine Masterarbeit.

05.09.

Auf der der International Conference on Electrical Machines (ICEM) 2014 wird Jonathan Jürgens mit dem Best Poster Presentation Award prämiert.

01.10.

Dirk Braunisch erhält auf der CIGRE/CIRED den ETG-Literaturpreis 2014.

2015

08.05.

Olga Korolova wird mit dem SEW-Eurodrive-Stiftungspreis für ihre Masterarbeit ausgezeichnet.

26.06.

Frederic Dobbert erhält den Stiftungspreis der Hanns-Voith-Stiftung für seine Masterarbeit.

09.12.

Björn Berweiler erhält den CTI Young Drive Experts Award für seine Masterarbeit.

Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik

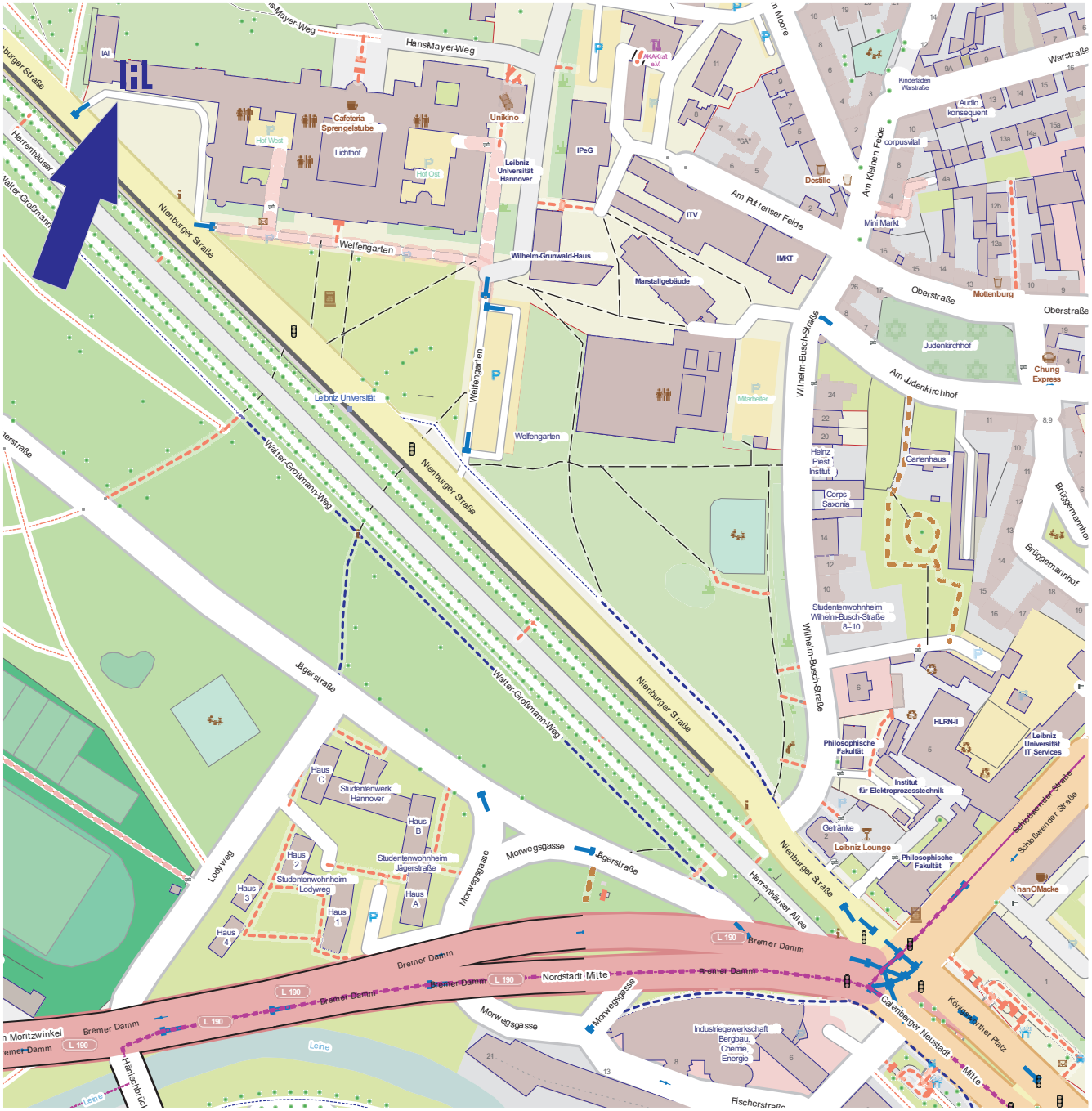
Leibniz Universität Hannover

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



© OpenStreetMap-Mitwirkende www.Openstreetmap.org

Institut für
Antriebssysteme und
Leistungselektronik

Leibniz
Universität
Hannover