

Jahresbericht



Annual Report

2006 / 2007

2006 / 2007



Institut für
Antriebssysteme
und Leistungselektronik

Prof. Dr.-Ing. A. Mertens

Leistungselektronik
Antriebsregelung

Prof. Dr.-Ing. B. Ponick

Elektrische Maschinen
Antriebssysteme

Anschrift

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

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

Jahresbericht

Antriebsregelung

Elektrische Antriebssysteme

Elektrische Maschinen

Leistungselektronik

Annual Report

Drive Control

Drive Systems

Electrical Machines

Power Electronics

Impressum

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

Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL)
Leibniz Universität Hannover

Redaktion: Dipl.-Fachübers. P. Duensing

Inhaltsverzeichnis ♦ Table of Contents

Vorwort ♦ Preface	4
Forschung am IAL: Projektberichte ♦ Research at IAL: Project Reports	9
Mikroaktoren in großer Vielfalt.....	10
Varied Design Solutions for Micro Actuators	
Ansteuerung und Regelung von Mikromotoren	11
Drive and Control of Micro Actuators	
Neues in und von FEMAG	13
Novelties about FEMAG	
Dynamisches Modellieren permanentmagneterregter Synchronmaschinen	15
Dynamic Modelling of Permanent Magnet Synchronous Machines	
Transiente Simulation zur Verlustberechnung im Läufer einer umrichter gespeisten permanentmagnet- erregten Synchronmaschine	17
Transient Simulation for Loss Calculation in the Rotor of a Converter-fed Permanent Magnet Synchron- ous Machine	
Geberloser Betrieb von permanentmagneterregten Synchronmotoren kleiner Leistung bis Drehzahl Null	19
Sensorless Control of Low-power Permanent Magnet Synchronous Motors Down to Zero Speed	
Modell zur analytischen Berechnung eines Hybridschrittmotors	21
Model for Analytical Calculation of Hybrid Stepping Motors	
Untersuchung des Teilwicklungsanlaufs von Induktionsmaschinen mit Käfigläufer	23
Investigation of Part-winding Start Used in Cage Induction Motors	
Sättigungsverhalten von doppelt gespeisten Asynchrongeneratoren	25
Saturation Behaviour of Doubly Fed Induction Generators	
Qualifikation von Motorenbauteilen	27
Qualification of Motor Components	
Prüfstand zur Charakterisierung von Halbleiterbauelementen	29
Test Bench for Characterising Semiconductor Components	
Prädiktiver Stromregler für umrichter gespeiste Mittelspannungsantriebe mit LC-Filtern	31
Predictive Current Controller for Inverter-fed Medium Voltage Drives with LC Filters	
Multilevel-Umrichter	33
Multilevel Converters	
Spannungsgespeiste DC-DC Wandler für Brennstoffzellensysteme	35
Voltage-fed DC/DC Converters for Fuel Cell Systems	
Lehrveranstaltungen am IAL ♦ Lectures at IAL	38
Veranstaltungstabelle	39
Schedule of Lectures	

Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung.....	40
Basics of Electromagnetical Power Conversion	
Berechnung elektrischer Maschinen.....	41
Theory of Electrical Machines	
Elektrische Klein- und Servoantriebe.....	42
Small Electrical Motors and Servo Drives	
Elektronisch betriebene Kleinmaschinen.....	42
Small Electronically Controlled Motors	
Elektrische Antriebssysteme.....	43
Electrical Drive Systems	
Elektrische Antriebstechnik I.....	44
Electric Drives I	
Elektrische Antriebstechnik II.....	45
Electric Drives II	
Leistungselektronik I.....	46
Power Electronics I	
Leistungselektronik II.....	46
Power Electronics II	
Leistungshalbleiter und Ansteuerungen.....	47
Power Semiconductors and Gate Drives	
Regelung elektrischer Drehfeldmaschinen.....	48
Control of Electrical Three-phase Machines	
Dynamische Regelantriebe.....	49
Dynamic Servo Drives	
Elektrische Bahnen.....	50
Electrical Traction	
Kolloquium „Elektrische Antriebssysteme“, „Berechnung elektrischer Maschinen“ und „Elektrische Klein- und Servoantriebe“.....	50
Colloquium on „Electrical Drive Systems“, „Theory of Electrical Machines“ and „Small Electrical Motors and Servo Drives	
Labor „Leistungselektronik“.....	51
Laboratory Exercise on „Power Electronics“	
Labor „Elektrische Maschinen“.....	52
Laboratory Exercise on „Electrical Machines“	
Labor „Elektrische Antriebssysteme“.....	52
Laboratory Exercise on „Electrical Drive Systems“	
Studien-, Diplom- und Masterarbeiten 2006/2007.....	54
Students' Theses 2006/2007	
Das Institut ♦ The Institute.....	58
Mitarbeiter des IAL.....	58
Staff of IAL	
Chronik 2006/2007.....	62
Chronicle 2006/2007	
Veröffentlichungen 2006/2007.....	69
Publications 2006/2007	

Veranstaltungen 2006/2007	71
Events 2006/2007	
Auszeichnungen 2006/2007	72
Awards 2006/2007	
Dissertationen 2006/2007 ♦ Dissertations 2006/2007	73
Entwurf von Aktivteilen elektromagnetischer Mikrolinearaktuatoren nach dem Reluktanzprinzip	74
Design of Active Parts for Electromagnetic Linear Micro Actuators Based on the Reluctance Principle	
Über ein Zulassungsverfahren für explosionsgeschützte, umrichter gespeiste Käfigläufer der Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“	75
Approval Concept for Explosion-proof Converter-fed Cage Induction Motors of Type of Protection “Increased Safety”	
Über den Entwurf eines permanentmagneterregten Linearmotors	77
Design of a Permanent Magnet Linear Motor	



Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

Sie halten nun den zweiten Jahresbericht des IAL in Händen, mit dem wir wiederum unseren aktuellen und zukünftigen Partnern ebenso wie unseren Ehemaligen und Freunden einen Eindruck davon vermitteln wollen, wie sich das Institut in den letzten beiden Jahren entwickelt hat und an welchen Themen wir hauptsächlich arbeiten.

In den Jahren 2006 und 2007, über die sich unser Bericht erstreckt, ist das Institut weiter kräftig gewachsen. Die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter hat sich auf nunmehr 22 noch einmal verdoppelt und verteilt sich in etwa gleicher Stärke auf die beiden Fachgebiete. Im Hinblick auf die Betreuungskapazität der beiden Professoren ist damit sicherlich eine Obergrenze erreicht.

Um die erforderlichen Büroflächen zu schaffen, haben wir den zuletzt für die Rechnerarbeitsplätze von Studienarbeitern, Diplomarbeitern und studentischen Hilfskräften genutzten ehemaligen Laborraum im 1. OG in drei Büros unterteilt, die inzwischen voll belegt sind. Die Rechnerarbeitsplätze der Studierenden haben wir in diesem Zuge ins Hauptlabor im Erdgeschoss verlegt. Durch die weiterhin erfreulich hohe Zahl von Studien- und Diplomarbeiten (bzw. Bachelor- und Masterarbeiten - aber das Thema Bolognaprozess wollen wir an dieser Stelle nicht vertiefen) wird es damit auch in unseren Laborräumen langsam eng.

Die Finanzierung der neuen Mitarbeiter erfolgt ausschließlich über Drittmittel, was zeigt, dass das IAL seine Industriekooperationen weiter ausbauen konnte und dass es auch gelungen ist, für einige Forschungsprojekte öffentliche Fördermittel z. B. von der DFG zu erhalten.

Das Lehrangebot wurde noch um eine Vorlesung zu Bauelementen der Leistungselektronik ergänzt und ist aus unserer Sicht nun so gestaltet, dass alle wichtigen Bereiche der Antriebstechnik und Leistungselektronik abgedeckt werden. Der Anteil der Studierenden, die sich am IAL spezialisieren, ist weiterhin erfreulich hoch. Die absolute Zahl der Elektrotechnik-Studierenden ist allerdings weiterhin - wie an allen deutschen Universitäten - auf erschreckend niedrigem Niveau stabil. Deutlich steigende Studienanfängerzahlen sind lediglich im neu geschaffenen Mechatronik-

Preface

Dear readers,

the IAL is pleased to present you its second annual report, again with the purpose to give current and future partners as well as former members and friends of our institute an impression, how the IAL has developed within the last two years and which subjects we are mainly working on.

During 2006 and 2007, our staff has constantly grown. The IAL presently counts 22 research associates, who are working in nearly equal shares for the two chairs of the IAL. With this, the two professors have surely reached an upper limit in terms of giving adequate support to their scientific staff.

In order to create the required office premises, our former laboratory rooms on the first floor, having lately served as computer working places for research students and student assistants, were changed into three office rooms. The computer working places are now installed in our main laboratory, located on the ground floor. Due to the constantly high number of students' and diploma theses (bachelor and master theses respectively - we do not want to discuss the Bologna process in this context), our laboratories are increasingly getting crowded, too.

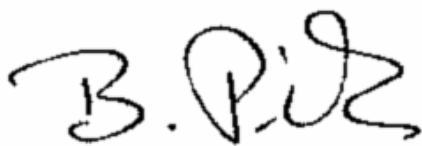
Our new personnel is exclusively financed by third party funds, proving that the IAL has been capable to expand its industrial cooperations and has also been successful in raising public funds for specific research projects, for example from the DFG (German Research Association).

The lectures offered at the IAL have been added by "Power Semiconductors and Gate Drives", so that in our opinion, all important parts of drive technology and power electronics are covered now. Fortunately, the number of students which are interested in specialising at the IAL is still remaining on a high level. Nevertheless, the absolute number of EE students is alarmingly low - as is the case at all universities in Germany. A rising number of first-year students can only be observed for Mechatronics, a new course of study, where the IAL participates with some compulsory lectures.

The visibility of the IAL and its staff has continuously been improved within the last two years. Meanwhile, the IAL regularly takes part with technical papers in important international conferences, like EPE, IEEE IAS and PESC, Actuator or Speedam. Prof. Mertens has become the co-editor of the scientific journals Electrical Engineering and ETEP, he is Head of the VDE division Q1 and the elected Secretary of the German Chapter of IEEE IAS/PELS/IES. In 2007, Prof. Ponick has been elected Chairman of IEC TC2, since the beginning of 2006, he is Convenor of TC2's main working group WG12. Moreover, he has been elected Director of the Hannover Center for Mechatronics and Academic Dean for Electrical Engineering and Information Technology.

During the next year, all IAL staff members will be busy to work on the numerous new projects they are entrusted with, presenting optimum results which will meet the high demands of our project partners. And of course, we are also curious and willing to meet other new interesting challenges in the time to come.

Hannover, December 2007



Studiengang zu verzeichnen, an dem das IAL mit einigen Pflichtvorlesungen beteiligt ist.

Die Sichtbarkeit des IAL und seiner Mitarbeiter hat sich in den letzten beiden Jahren weiter erhöht. Auf wichtigen internationalen Konferenzen, wie z. B. EPE, IEEE IAS und PESC, Actuator oder Speedam, ist das IAL inzwischen regelmäßig mit Beiträgen vertreten. Prof. Mertens wurde zum Mitherausgeber der Zeitschriften Electrical Engineering und ETEP, er leitet den VDE-Fachbereich Q1 und wurde zum Sekretär des German Chapter von IEEE IAS/PELS/IES gewählt. Prof. Ponick wurde 2007 zum Chairman von IEC TC2 gewählt; schon seit Anfang 2006 leitet er dessen Kernarbeitsgruppe WG12. Außerdem ist er nun Geschäftsführender Leiter des Mechatronik-Zentrums Hannover und Studiendekan für Elektrotechnik und Informationstechnik.

Im kommenden Jahr werden die Mitarbeiter des IAL alle Hände voll zu tun haben, um in den zahlreichen neuen Projekten erfolgreich zu arbeiten und zu Ergebnissen zu kommen, die den hohen Erwartungen unserer Projektpartner gerecht werden. Aber es wird sicher auch interessante neue Herausforderungen geben, denen wir uns gerne stellen werden.

Hannover, Dezember 2007



Curriculum Vitae

Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens

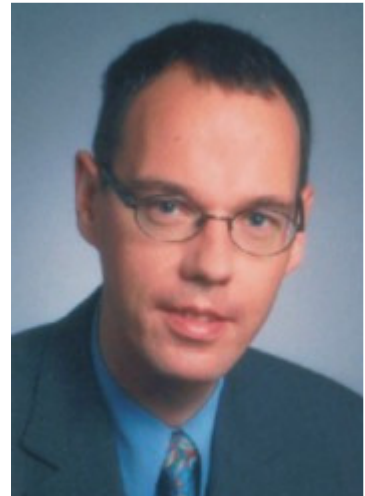
Welfengarten 1

30167 Hannover

Tel.: +49(0)511/762-2471

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

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



1982 - 1987	Studies and graduation (Dipl.-Ing.) in Electrical Engineering, RWTH Aachen University of Technology
1987 - 1992	Research associate at the Institute for Power Electronics and Electric Drives (ISEA) at RWTH Aachen
1989	Herbert Kind Award (VDE)
1989 – 1990	Research associate at WEMPEC, University of Wisconsin at Madison
1992	Doctor in Electrical Engineering at RWTH Aachen
1992	IEEE IAS IPCC 2nd Prize Paper Award
1993 – 2004	Siemens AG in 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
2006	Member of the Editorial Board of the journals "European Transactions of Electrical Power" (VDE-Verlag) and "Electrical Engineering" (Springer Verlag)
2006	Secretary of IEEE IAS/IES/PELS Joint German Chapter
2007	Elected Chairman of the Division Q1 Power Electronics of the Power Engineering Society ETG (Technical Society of the VDE)

Curriculum Vitae

Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick

Welfengarten 1

30167 Hannover

Tel.: +49(0)511/762-2571

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

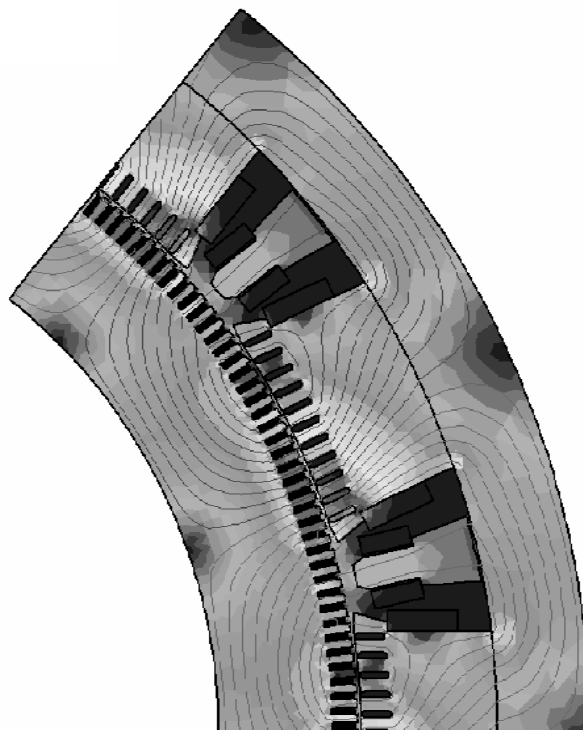
E-mail: ponick@ial.uni-hannover.de



1984 – 1990	Studies and graduation (Dipl.-Ing.) in Electrical Engineering/Power Engineering, University of Hannover
1986	Philips Award
1990 – 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	Design engineer for large variable speed motors at Siemens Dynamowerk, Berlin
1997	Head of the Electrical Design and Offer Processing Department
2001	Technical Director of Siemens Dynamowerk
2003	Appointed full professor for Drive Systems at the University of Hannover
2006	Convenor of Working Group 12 of IEC TC2 'Rotating Machinery'
2007	Elected Director of the Hannover Center for Mechatronics
2007	Elected Academic Dean for Electrical Engineering and Information Technology
2007	Elected Chairman of IEC TC2 'Rotating Machinery' until 2013

Forschung am IAL: Projektberichte

Research at IAL: Project Reports



Numerische Berechnung elektromagnetischer Felder
Numerical Calculation of Electromagnetic Fields

Mikroaktoren in großer Vielfalt

von M. Sc. G. Janssen

Die Herstellung von elektromagnetischen Mikroaktoren auf Basis der Dünnschichttechnik eröffnet innovative, für eine Massenfertigung geeignete Antriebslösungen für Anwendungen, in denen entweder kleinste Schrittweiten von wenigen Mikrometern oder kleinste Gesamtabmessungen gefordert werden. Je nach Anwendung kann auf eine Vielfalt von Wirkprinzipien wie Induktions-, Synchron-, geschaltete Reluktanz- oder Hybridmotoren zurückgegriffen werden.

Die Dünnschichttechnik erlaubt allerdings keine einfache Projektion makroskopischer Motorführungen auf mikroskopische Ebene. Dies liegt an den physikalischen Materialeigenschaften, die sich aus den zur Verfügung stehenden Fertigungsverfahren wie Galvanik oder Gasflusssputtern ergeben und die sich von den Eigenschaften makroskopisch hergestellter Materialien signifikant unterscheiden können. Andererseits erlaubt der schichtweise Aufbau aber auch die Ausführung neuer oder vorteilhafter Geometrien, die mit herkömmlichen Fertigungsverfahren nicht bzw. nur unwirtschaftlich ausführbar wären. Mikromotoren erfordern somit spezielle Designregeln.

Das IAL beschäftigt sich im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 516 „Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme“ mit dem elektromagnetischen Entwurf, der Speisung, Steuerung, Regelung sowie Simulation elektromagnetischer Motoren für rotierende (Abb. 1) und lineare Bewegungen (Abb. 2). Dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit Maschinenbau-Instituten aus Braunschweig und Hannover, die die entsprechenden mikrotechnischen Verfahren sowie die Fertigungs- und Montagetechnik entwickeln. Hierzu wurde eine flexible Simulationsumgebung geschaffen, so dass z. B. Fortschritte oder neue Erkenntnisse auf Seiten der eingesetzten Werkstoffe schnell und effizient in ihrer Wirkung auf das Betriebsverhalten untersucht werden können und daraus ggf. Designverbesserungen abgeleitet werden können.

Varied Design Solutions for Micro Actuators

by M. Sc. G. Janssen

The manufacturing of electromagnetic micro actuators applying thin-film technology offers innovative drive solutions which are suitable for mass production and applications requiring step sizes of a few micro metres or total dimensions in the range of a few millimetres, only. Depending on the application, it can be chosen between a large variety of operating principles, like induction, synchronous, switched reluctance or hybrid motors.

When applying thin-film technology, however, it is not possible to simply transfer macroscopic motor designs to microscopic ones. The physical material properties resulting from manufacturing methods like electroplating or gas-flow sputtering can be significantly different from the properties of materials manufactured by using macroscopic manufacturing methods. On the other hand, the layer structure permits the design of new and favorable geometries which cannot be achieved (or only under unreasonable efforts) with traditional manufacturing methods. Micro actuators thus require specific design rules.

In the Collaborative Research Centre 516 "Construction and Manufacturing of Active Micro Systems", the IAL works on the electromagnetic design, supply, control as well as the simulation of electromagnetic motors for rotating (fig. 1) and linear motions (fig. 2).

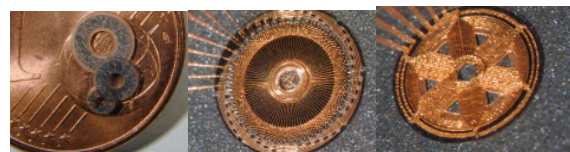


Abb. 1: Läufer und Ständer rotierender Mikrosynchronmotoren

Fig. 1: Rotors and stators of rotating synchronous micro actuators

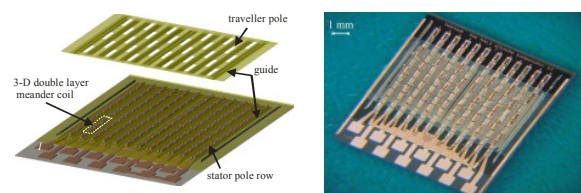


Abb. 2: Mikrolinear-Schrittmotor mit horizontaler Flussführung

Fig. 2: Linear micro stepping motor with horizontal flux guide

Research is done in close cooperation with mechanical engineering institutes located in Braunschweig and Hannover, which deal with the development of appropriate microtechnical methods as well as the respective manufacturing and assembly methods. For this purpose, a flexible simulation environment was developed, allowing a quick and efficient investigation of how improvements or new conclusions affect the performance depending on the materials used, so that in the end design improvements can be derived, if necessary.

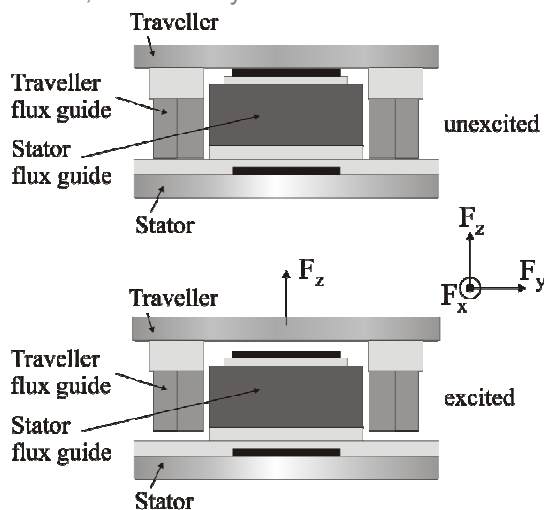


Abb. 3: Prinzip der integrierten magnetischen Führung

Fig. 3: Principle of the integrated magnetic guide

Besides the electromagnetic design of the active part which generates the thrust of the drive, specific actuator designs with magnetic guides for minimising friction forces were designed, too. For the horizontal actuator shown in fig. 2, an integrated passive, i.e. non-controlled, magnetic guide for compensation of the weight was successfully implemented. The magnetic guide was designed in such a way that no additional components are required, but the levitation force is generated by the active part itself. Due to a displacement of the magnetic centres in the soft magnetic flux guides of stator and traveller in z direction (see fig. 3), Maxwell boundary forces occur at the upper surface of the traveller when exciting the stator windings, thus obtaining a levitation of the traveller without contact and friction in vertical direction. Position control is not required to achieve a stable balance, provided that the magnetic flux density remains constant. Fig. 4 shows that the thrust force F_x is only slightly reduced in the respective region by the z displacement of the traveller.

Neben dem elektromagnetischen Entwurf des reinen Aktivteils, der die Vorschubkraft des Antriebs erzeugt, wurden auch spezielle Motordesigns mit magnetischen Führungen zur Minimierung der Reibkräfte konzipiert. Bei dem in Abb. 2 gezeigten Horizontalmotor konnte eine integrierte passive - d.h. ungeregelte stabile - magnetische Führung zur Kompensation der Gewichtskraft erfolgreich umgesetzt werden. Die magnetische Führung wurde so gestaltet, dass keine zusätzlichen Komponenten erforderlich sind, sondern die Levitationskraft durch das Aktivteil selbst aufgebracht wird. Durch eine Verschiebung der magnetischen Mitten der weichmagnetischen Flussführungen von Ständer und Läufer in z-Richtung (s. Abb. 3) entstehen bei Erregung der Ständerwicklungen Maxwell'sche Grenzflächenkräfte an der Oberseite des Läufers, durch die eine Levitation des Läufers ohne Kontakt und Reibung in vertikaler Richtung erreicht wird. Ein stabiles Gleichgewicht kann hierbei ohne eine Positionsregelung erzeugt werden, sofern die Induktion konstant ist. Abb. 4 zeigt, dass die Vorschubkraft F_x durch die z-Verschiebung des Läufers im interessierenden Bereich nur geringfügig reduziert wird.

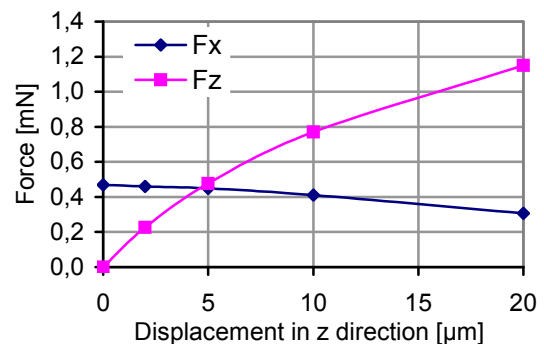


Abb. 4: Vorschubkraft F_x und Vertikalkraft F_z in Abhängigkeit von der z-Verschiebung des Läufers

Fig. 4: Thrust F_x and vertical force F_z dependent on the z displacement of the traveller

Ansteuerung und Regelung von Mikromotoren

von Dipl.-Ing. K. Wiedmann

Neben der Auslegung von Mikromotoren beschäftigt sich das IAL auch mit deren Ansteuerung und Regelung. Bei den verschiedenen Motortypen handelt es sich um permanentmagnet-erregte Synchronmotoren, Reluktanzschrittmotoren und Hybridschrittmotoren. Alternativ zum gesteuerten Schrittbetrieb wurde ein positionsge-
regelter Betrieb realisiert. Die Anforderungen, die hierbei sowohl an die Ansteuerung bzw. Leistungselektronik als auch an die Regelung der Mikromotoren gestellt werden, unterscheiden sich deutlich von denen makroskopischer Antriebssysteme.

Abb. 1 zeigt den schematischen Aufbau der Antriebsstruktur der Mikromotoren. Diese lässt sich grob in eine Stromsollwertgenerierung und eine geregelte Stromerzeugung unterteilen.

Für beide Bereiche ergeben sich auf Grund der mikroskopischen Ausmaße der Motoren besondere Herausforderungen. Bei der Stromsollwertgenerierung wird dies anhand des Positionsreglers besonders deutlich. Einerseits besteht eine relativ große Systemparameterunsicherheit, welche z.B. durch konstruktive Toleranzen hervorgerufen wird. Andererseits können relativ große Störkräfte bzw. Störeinflüsse, wie z.B. der Einfluss von Staub auf die Lagerung, auftreten. Weiterhin besteht abhängig vom Motortyp ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Stellgröße (Strom) und Vorschubkraft. Ein Regler, der sich sowohl gegenüber Systemparameterschwankungen als auch gegenüber Störkräften sehr robust verhält, ist der Sliding-Mode-Regler. Der Sliding-Mode-Regler kann als eine Symbiose aus Zweipunktregler und PD-Regler aufgefasst werden. Die ungefähre Funktionsweise soll anhand eines simulierten Positionssollwertsprungs in positiver Richtung veranschaulicht werden. Zuerst wird der Läufer bis zu einem definierten Verhältnis von Geschwindigkeit zu Position maximal beschleunigt. Ist dieses Verhältnis erreicht, setzt eine PD-Regelung ein, um den Läufer abzubremesen, bis der Positionssollwert erreicht ist. Sind die Grenzwerte der Parameterunsicherheiten und der Störkräfte bekannt, kann garantiert werden, dass der Sollwert ohne ein Überschwingen erreicht wird. Ein Nachteil dieser sehr robusten Regelung ist, dass der Sollwert nicht zeitoptimal erreicht wird. Aus die-

Drive and Control of Micro Actuators

by Dipl.-Ing. K. Wiedmann

Besides their design, the IAL also deals with the drive and control of micro actuators. The different types of actuators comprise permanent magnet synchronous motors, reluctance and hybrid stepping motors. As an alternative to the stepping mode, a position control was realised. The requirements towards drive system and power electronics as well as the control of micro actuators are considerably different from those of macroscopic drive systems.

Fig. 1 shows the schematic drive structure of micro actuators. It can roughly be divided into current setpoint generation and current control.

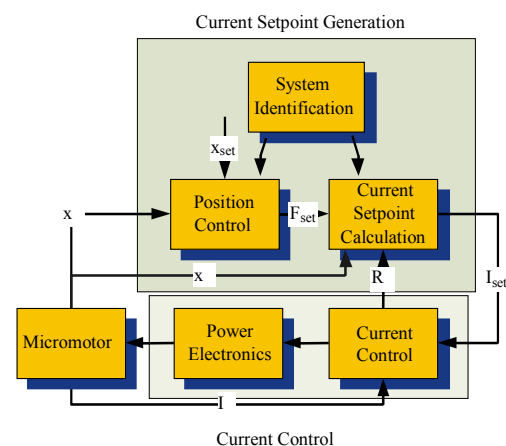


Abb. 1: Antriebsstruktur

Fig. 1: Drive Structure

Due to the microscopic dimensions of the actuators, both parts pose their specific challenge. For current setpoint generation, this becomes especially evident for the position control. On the one hand, there is a relatively high system parameter uncertainty, e.g. provoked by constructive tolerances. On the other hand, considerable disturbances and interferences may occur, as for example the negative effect of dust on the bearing. Depending on the type of actuator, there is a non-linear relationship between set value (current) and thrust force. The sliding mode controller is a controller which is extremely insensitive towards system parameter variations and disturbances. It can be described as a symbiosis of a two-level controller and a PD controller. Its

functioning shall be roughly made clear on the basis of a simulated position setpoint change in positive direction. At first, the rotor is accelerated to a maximum, until a defined speed-to-position ratio is reached. Then PD control begins in order to decelerate the rotor, until the position setpoint is obtained. If the limits for parameter uncertainties and disturbances are known, the setpoint can definitely be reached without overshooting. One disadvantage of this robust control is that the setpoint cannot be reached in a minimum period of time. For this reason, the conventional sliding mode controller was modified. On the one hand, the speed-to-position ratio, where changing from two-level control to PD mode, is adaptively calculated. On the other hand, the parameters of the P and D component are variably calculated, too. In this way, time-optimal positioning is realised, maintaining the robust properties of the sliding mode controller. Fig. 2 demonstrates the control behaviour. The statepoint trajectory of the rotor is shown in the phase plane. First of all, the rotor is accelerated to a maximum, until the sliding curve is reached. Due to relatively high disturbances, the statepoint trajectory is slightly uneven. Afterwards, it is changed into PD mode, maintaining the statepoint of the rotor on the sliding surface, until the set position is reached. In the immediate vicinity of the setpoint, it is changed into the classical sliding mode. This reduces the D component and thus the susceptibility to noise. A system identification carried out at the same time reduces the system parameter uncertainties.

The microscopic dimensions of the motors require a specific design of the power electronics and the current control, too. This is caused above all by considerably small inductances of the motor phases. In order to avoid high current ripple, a buck converter with a pulse frequency of up to 10 MHz was realised.

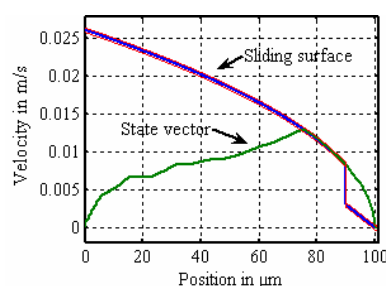


Abb. 2: Simulierter Verlauf des Zustandspunktes

Fig. 2: Simulated statepoint trajectory

sem Grund wurde der klassische Sliding-Mode-Regler modifiziert. Zum Einen wird das Verhältnis von Geschwindigkeit zu Position, bei dem von Zweipunktregelung in den „PD-Modus“ gewechselt wird, adaptiv berechnet, zum Anderen erfolgt die Berechnung der Parameter des P- bzw. D-Anteils ebenfalls variabel. Dadurch wird eine zeitoptimale Regelung realisiert, bei der die robusten Eigenschaften des Sliding-Mode-Reglers erhalten bleiben. Abb. 2 verdeutlicht das Regelverhalten. Hierbei ist der Verlauf des Zustandspunktes des Läufers in der Phasenebene zu sehen. Zuerst wird der Läufer maximal beschleunigt, bis die Schaltkurve erreicht wird. Auf Grund einer sehr großen Störkraft hat der Zustandspunkt bis dahin einen etwas unruhigen Verlauf. Danach wird in den „PD-Modus“ gewechselt, so dass der Zustandspunkt des Läufers die Schaltgerade nicht mehr verlässt und in die Sollposition hineinläuft. In naher Umgebung des Sollwertes wird in den klassischen Sliding-Mode gewechselt. Dies hat den Vorteil, dass der D-Anteil und damit die Anfälligkeit gegenüber Messrauschen reduziert werden. Eine zusätzlich durchgeführte Systemidentifikation verringert Systemparameterunsicherheiten.

Für die Auslegung der Leistungselektronik und Stromregelung ergeben sich ebenfalls Besonderheiten auf Grund der mikroskopischen Ausmaße der Motoren. Dies wird vor allem durch die sehr kleinen Induktivitäten der Motorstränge (wenige nH) verursacht. Um eine hohe Stromwelligkeit zu vermeiden, wurde ein Tiefsetzsteller mit einer Taktfrequenz von bis zu 10 MHz realisiert.

Neues in und von FEMAG

von Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

FEMAG ist ein numerisches Programm zur Berechnung zweidimensionaler Magnet- und Wirbelstromfelder auf Basis der finiten Elemente, das speziell auf die Bedürfnisse der Berechnung elektrischer Maschinen und Geräte zugeschnitten wurde. Inzwischen hat FEMAG eine 25-jährige Geschichte aufzuweisen, die neben dem Wirken von Prof. Reichert mit zahlreichen Dissertationen an der ETH Zürich verbunden ist. Durch die Ausrichtung des Programms auf die Bedürfnisse der Maschinenberechnung hat FEMAG eine weite Verbreitung unter Herstellern und Anwendern von elektrischen Maschinen im deutschsprachigen Raum und darüber hinaus erfahren. Nicht zuletzt um alle Nutzer des Programms über die inhaltlichen und organisatorischen Neuigkeiten um und in FEMAG zu informieren, fand am 26. November 2007 in Stuttgart das erste Anwender-Treffen statt, an dem ca. 120 Teilnehmer von über 50 verschiedenen Firmen und Hochschulen vertreten waren.

Auf dem Anwender-Treffen präsentierten 11 Vortragende aus Industrie und Forschung neue Möglichkeiten und Anwendungen des Programms. Prof. Reichert stellte neben einem kurzen historischen Abriss neue Funktionalitäten sowie zahlreiche Hinweise zur Anwendung vor. Anwendungsbezogene Vorträge hatten die Bestimmung von Ersatzparametern von elektrischen Maschinen für statische und dynamische Simulationen, die Berechnung von Drehmomentwelligkeiten, die Ermittlung von Stromverdrängungseffekten und -verlusten und die Einbindung des Programms in Berechnungstools zur automatisierten Berechnung zum Thema. Besonders hervorzuheben ist neben dem Projekt FEMAG-3D die begonnene Arbeit zur Umsetzung einer script-Sprache zur versionsunabhängigen automatisierten Programmsteuerung. In meinem Programmbeitrag stellte ich den integrierten automatischen Wicklungsentwurf vor, der im Anschluss kurz beschrieben wird. Den Abschluss der Veranstaltung bildete ein inhaltlicher und organisatorischer Ausblick über die zukünftige Entwicklung von FEMAG.

Der Wicklungsentwurf von symmetrischen mehrsträngigen Wechselstrom- und Kommutatorwicklungen beruht auf der Aufstellung und Auswertung des Nutensterns. Ziel des Wicklungsentwurfs ist ein maximaler Wicklungsfaktor

Novelties about FEMAG

by Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

FEMAG is a numerical program, especially designed for the analysis of electrical machines, used to calculate two-dimensional magnetic and vector fields on the basis of the finite element method. Meanwhile, we can look back on 25 years of FEMAG history, closely linked to the work and commitment of Prof. Reichert and numerous dissertations realised at ETH Zürich. Since the software focuses on the requirements of machine analysis, FEMAG has gained a wide acceptance and spreading among manufacturers and users of electrical machines in Germany and abroad. For the purpose of informing all program users on novelties about FEMAG as regards content and organisation, a FEMAG user meeting was arranged for the first time. It took place in Stuttgart, Germany, on 26 November, 2007, with about 120 participants from more than 50 different companies and universities.

On the occasion of this meeting, 11 lecturers from industry and research presented new program features and applications. After a short historical review, Prof. Reichert gave an introduction into new functions and different applications. User-oriented lectures focused on subjects like the calculation of equivalent parameters of electrical machines for static and dynamic simulations from FEM results, the analysis of torque ripples, the determination of current displacement effects and losses and the integration of the program into calculation tools for an automated analysis. Besides the FEMAG 3D project, it has to be mentioned the approach to use a script code for version-independent automated program control. In my program presentation, I described the integrated automatic winding design, which is shortly summarised below. The meeting ended in describing future prospects as regards content and organisation concerning the development of FEMAG in the future.

The winding design of symmetrical polyphase AC and commutator windings is based on the generation and evaluation of the slot phasor diagram, called slot star. The winding design aims at a maximum winding factor for the main spatial harmonic with a winding arrangement as simple as possible. The data required for

modelling and design are entered via input mask, and the program checks the compliance with the winding rules. Despite the compliance with the winding rules, there are no restrictions for the windings that can be designed automatically by FEMAG. The automated winding design releases the user from laborious interactions. The feasibility of a symmetrical winding is examined, and further automated analysis can be realised with FEMAG.

für die Hauptwelle bei möglichst einfachem Wicklungsaufbau. Die zur Modellierung und zum Entwurf benötigten Daten werden in einer Eingabemaske abgefragt, und die Einhaltung der Wicklungsgesetze im Programm geprüft. Der Wicklungsentwurf ist abgesehen von der Einhaltung der Wicklungsgesetze keiner Beschränkung unterlegen. Durch den automatisierten Wicklungsentwurf wird der Benutzer von mühseliger Interaktion entlastet, die Ausführbarkeit einer symmetrischen Wicklung überprüft und eine weitere automatisierte Berechnung in FEMAG ermöglicht.

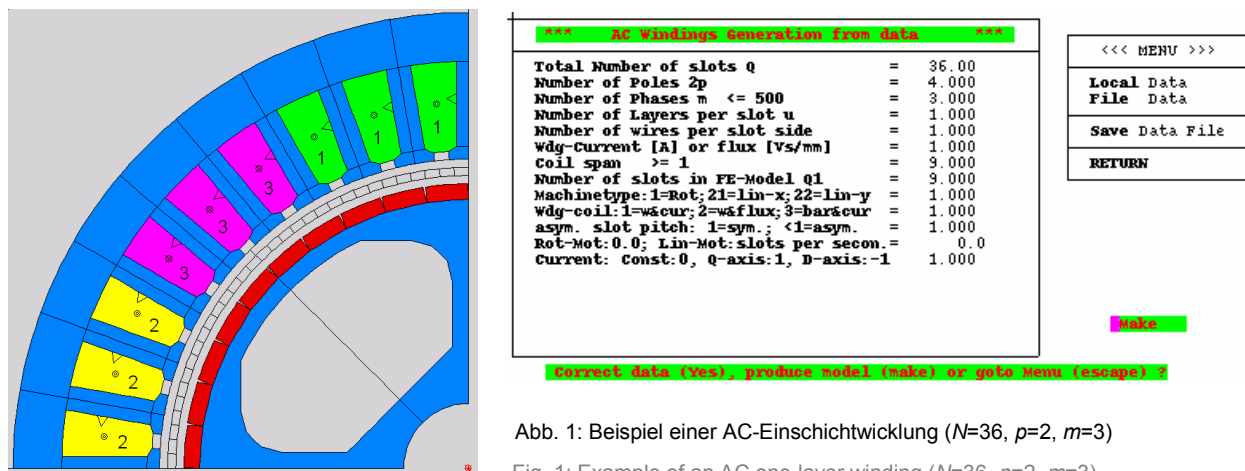


Abb. 1: Beispiel einer AC-Einschichtwicklung ($N=36$, $p=2$, $m=3$)

Fig. 1: Example of an AC one-layer winding ($N=36$, $p=2$, $m=3$)

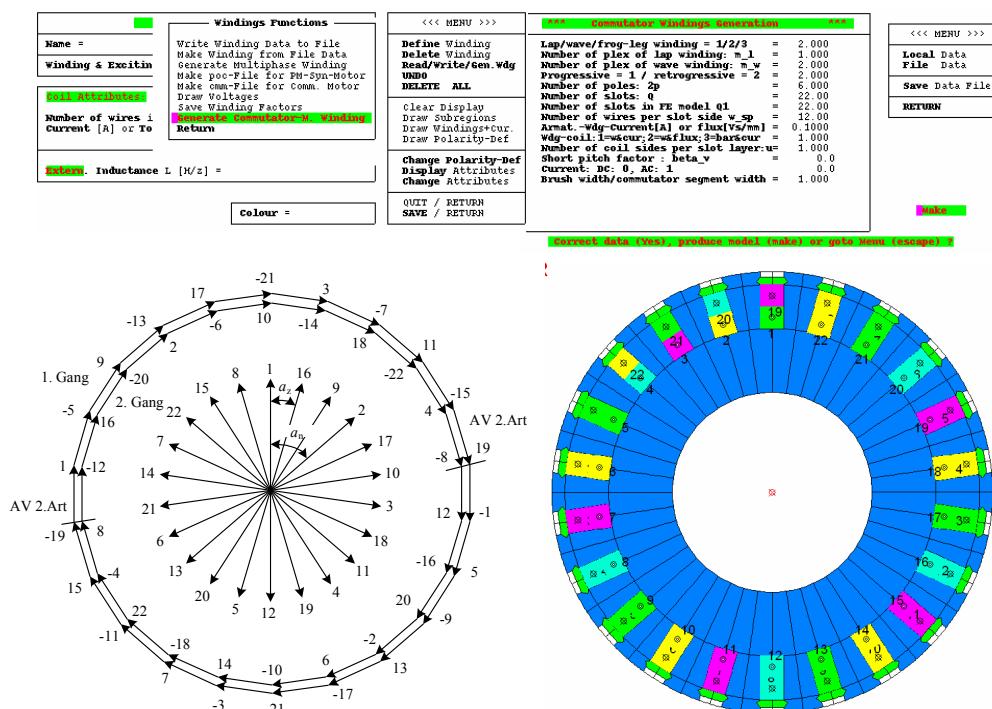


Abb. 2: Bsp. einer Kommutatorwicklung (zweifach geschlossene, zweigängige, gekreuzte Wellenwicklung $k = N = 22$, $2p = 6$)

Fig. 2: Example of a commutator winding (duplex, retrogressive wave winding $k = N = 22$, $2p = 6$)

Dynamisches Modellieren permanentmagneterregter Synchronmaschinen

von Dipl.-Ing. Kay-Horst Dempewolf

Permanentmagneterregte Synchronmaschinen (PMSM) haben in den vergangenen Jahren an Bedeutung in der Antriebstechnik hinzugewonnen. Sie finden größtenteils in Anwendungen der Servotechnik und Robotik ihren Einsatz, wo hohe Dynamik gefordert ist. Darüber hinaus werden sie auch in Spindel- oder Kompressorantrieben verwendet, die nicht selten Drehzahlen im Bereich von 100.000 min^{-1} fordern. Die Speisung dieser Maschinen erfolgt stets über Frequenzumrichter. Um derartige Antriebssysteme zu optimieren, ist es notwendig, ihr transientes Verhalten simulieren zu können. Eine treffsichere Modellierung kann für Antriebshersteller zu einer signifikanten Reduzierung von Entwicklungszeit und -kosten führen, wenn anstelle des Baus und der Vermessung von Prototypen Simulationsrechnungen ausreichen.

In diesem Forschungsprojekt steht daher die dynamische Modellbildung der PMSM im Fokus, wobei speziell parasitäre Effekte identifiziert, ihre Einflüsse beurteilt und entsprechend im Differentialgleichungssystem berücksichtigt werden. Eine wesentliche Teilaufgabe ist dabei, die notwendigen Modellparameter rechnerisch aus der Maschinengeometrie vorauszubestimmen. Die Bestimmung der Induktivitäten in Längs- und Querachse für das in d - q -Koordinaten entwickelte DGL-System erfolgt mit Hilfe numerischer Feldberechnungen.

Da das in diesem Projekt entwickelte Simulationsmodell auch Wirbelströme in elektrisch leitfähigen Gebieten des Rotors, welche z. B. Permanentmagnete (NeFeB) oder massive Motorwellen sein können, in die Simulation in Form fiktiver Dämpferwicklungen einbeziehen soll, müssen auch die Parameter für diese Dämpferwicklungen bestimmt werden. Hierzu wurde ein Verfahren auf Basis der 2D-FEM-Software FEMAG entwickelt, welches die Theorie des Felddämpfungsfaktors zur Bestimmung der genannten Parameter verwendet. Dabei wird der Läufer erst in der d - und dann in der q -Achse mit einem Wechselfeld erregt und die durch die Wirbelströme im Läufer verursachte Änderung der Hauptwelle des Luftspaltfelds nach Amplitude und Phasenlage bestimmt.

Dynamic Modelling of Permanent Magnet Synchronous Machines

by Dipl.-Ing. Kay-Horst Dempewolf

In the last years, synchronous machines excited by permanent magnets (PMSM) have gained importance in drive technology. They are mainly used in the field of robotics and servo technology, where a highly dynamic performance is required. In addition, they are applied in spindle and compressor drives, often requiring speeds in the range of $100,000 \text{ rpm}$. These machines are always fed by frequency converters. In order to optimise this kind of drive systems, it is necessary to be able to simulate their transient behaviour. An accurate modelling can significantly reduce development time and cost for the drive manufacturer, when simulation calculations can replace the manufacturing and testing of prototypes.

Therefore, this research project focuses on the dynamic modelling of PMSM, especially identifying parasitic effects, evaluating their influences and considering them in the differential equation system. One main subtask is to calculate the necessary model parameters based on the machine geometry. The inductances in d - and q -axis, however, developed in d - q coordinates for the ODE system, are determined by means of numerical field calculations.

Since the simulation model developed in this project shall also include eddy currents occurring in electrically conducting parts of the rotor, like for example permanent magnets (NeFeB) or solid motor shafts, in the simulation in form of fictive damper windings, the parameters of such damper windings must be calculated, too. For this purpose, a method based on the 2D FEM software FEMAG has been developed, using the theory of the field damping factor to determine the respective parameters. In the simulation, the rotor is first excited in the d -axis and then in the q -axis by means of an alternating field; the amplitude and the phase angle of the main harmonic of the air gap field that is influenced by the eddy currents in the rotor is determined.

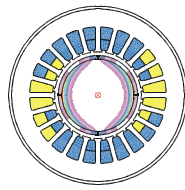


Abb. 1: Wirbelströme in leitfähigen Gebieten des Rotors (FEM-Simul.)

Fig. 1: Eddy currents in conducting rotor parts (FEM simulation)

Due to current displacement effects, the calculated field damping factor and thus the equivalent circuit parameters of the fictive damper windings depend to a considerable extent on the frequency. In order to achieve constant values for the equivalent circuit elements and thus constant coefficients in the differential equation system, the damper windings are modelled by an equivalent network. Its individual parameters are numerically calculated in such a way that the total impedance of the equivalent network is identical in its frequency dependence with the impedance of the real setup calculated with FEMAG. Investigations at the IAL have proved that six R - L combinations switched in parallel are sufficient for modelling the frequency dependence of different rotor types. Fig. 1 illustrates, how eddy currents may occur in conducting parts of a two-pole PMSM, when fed by time-variable sinusoidal currents with constant frequency.

The PMSM model has been implemented in MATLAB® Simulink® as a block with input and output variables and a user-friendly input mask, permitting a simple combination with other models to obtain complete drive systems. The comparison of simulation results with tests run on a test motor shows a good match for example for low voltages and frequencies at motor start-up.

At present, the model is being further developed, taking into consideration the magnetic saturation and the resulting reduced inductances. In this connection, it is not only important to determine the inductances as a function of the current impressed in the q -axis, but also for operation in the field weakening range. The inductances which result from comprehensive simulations and which depend on the current and the angle between rotor displacement and current, are imported as matrices into MATLAB® Simulink®. As a first approach, the inductances are adjusted while maintaining the instantaneous values of the current, thus neglecting the influence of the incremental inductance. To be able to quantify the caused error, an algorithm is presently being developed, considering the transient change of inductances. Despite the increased number of algebraic operations, the computing time shall be maintained in an acceptable range by means of an optimised C code.

Aufgrund von Stromverdrängungseffekten besitzt der so ermittelte Felddämpfungsfaktor und damit auch die Ersatzparameter der fiktiven Dämpferwicklungen eine nicht zu vernachlässigende Frequenzabhängigkeit. Um im Modell trotzdem konstante Werte für die Ersatzschaltbildelemente und damit konstante Koeffizienten im Differentialgleichungssystem zu gewährleisten, werden die Dämpferwicklungen durch ein Kettenleiter-Ersatznetzwerk modelliert. Dessen Einzelparameter werden numerisch derart berechnet, dass die Gesamtimpedanz des Kettenleiter-Ersatznetzwerks in ihrer Frequenzabhängigkeit identisch zu der mit FEMAG ermittelten Impedanz der realen Anordnung ist. Abb. 1 veranschaulicht, wie sich Wirbelströme in leitfähigen Gebieten einer zweipoligen PMSM bei einer Speisung durch zeitveränderliche sinusförmige Ströme mit fester Frequenz ausbilden.

Das Modell der PMSM wurde als Block mit Ein- und Ausgangsgrößen und einer benutzerfreundlichen Eingabemaske in MATLAB®-Simulink® implementiert, um eine einfache Zusammenführung mit anderen Modellen zu gesamten Antriebssystemen zu gewährleisten. Der Vergleich von Simulationsergebnissen mit Messungen an einem Testmotor z. B. bei Einschaltvorgängen an kleinen Spannungen und Frequenzen zeigt zufriedenstellende Übereinstimmung.

Aktuell wird das Modell im Hinblick auf die Berücksichtigung der Eisensättigung und die damit einhergehende Verringerung der Induktivitäten erweitert. Dabei steht nicht nur im Vordergrund, die Induktivität in Abhängigkeit eines in q -Achse eingeprägten Stromes zu bestimmen, sondern auch beim Betrieb im Feldschwächbereich. Die aus umfangreichen Simulationen resultierenden Induktivitäten, die abhängig vom Strom und dem Winkel zwischen Polradspannung und Strom sind, werden als Matrizen in MATLAB®-Simulink® importiert. Dabei werden als erster Ansatz die Induktivitäten unter Beibehaltung der Augenblickswerte der Ströme nachgeführt, wodurch allerdings der Einfluss der differentiellen Induktivität vernachlässigt wird. Um den entstehenden Fehler quantifizieren zu können, wird derzeit ein Algorithmus entwickelt, der die transiente Änderung der Induktivitäten berücksichtigt, wobei mit Hilfe von optimiertem C-Code trotz des Anstiegs an algebraischen Operationen die nötige Rechenzeit in akzeptablem Bereich gehalten werden soll.

Transiente Simulation zur Verlustberechnung im Läufer einer umrichter gespeisten permanentmagneterregten Synchronmaschine

von M. Sc. Vijay Ganesan und
Dipl.-Ing. Thorsten Getschmann

Permanentmagneterregte Synchronmaschinen (PMSM) kommen wegen ihrer hohen Dynamik größtenteils in Anwendungen der Servotechnik und Robotik zum Einsatz. Ein weiteres Einsatzgebiet sind Spindel- und Kompressorantriebe. Auf Grund der oft notwendigen hohen Drehzahlen im Bereich von 100.000 min^{-1} fällt auch die Grundfrequenz der Motorspeisung entsprechend hoch aus. Zur Speisung werden in diesen Anwendungsgebieten stets Umrichter verwendet.

Bei schnell drehenden Synchronmaschinen besteht die Gefahr der Entmagnetisierung der auf dem Läufer befindlichen Permanentmagnete. Der Grund für die Entmagnetisierung liegt in der Erwärmung des Läufers durch die in ihm auftretenden Verluste. Diese Verluste werden zum Teil durch Wirbelströme in den leitfähigen Bereichen des Läufers hervorgerufen.

Durch das Pulsmuster der Speisespannung verursacht der Umrichter im Motor nicht nur eine Grundschwingung, sondern auch ein Spektrum von Oberschwingungen, welches zudem vom eingesetzten Modulationsverfahren abhängig ist. In Abb. 1 ist ein solches Pulsmuster sowie die zugehörige Grundschwingung einer Umrichterspeisung dargestellt. Die zusätzlichen Oberschwingungen haben zusätzliche Feldwellen zur Folge, die wiederum die bereits erwähnten Wirbelströme hervorrufen. Diese Wirbelströme weisen eine starke Frequenzabhängigkeit auf.

Um die frequenzabhängigen Rotorverluste in der Simulation ermitteln zu können, wird das Modell der PMSM um so genannte Kettenleiter erweitert. Das Ersatzschaltbild (ESB) der PMSM wird hierbei so mit konstanten Ersatzschaltbildelementen ergänzt, dass das Frequenzverhalten der Rotorverluste ausreichend wiedergegeben wird. Mit bis zu sechs parallel geschalteten $R-L$ -Glieder lässt sich nach unseren Erfahrungen eine gute Näherung erreichen.

Transient Simulation for Loss Calculation in the Rotor of a Converter-fed Permanent Magnet Synchronous Machine

by M. Sc. Vijay Ganesan and
Dipl.-Ing. Thorsten Getschmann

Synchronous machines excited by permanent magnets (PMSM) are mainly used in the field of robotics and servo technology, where a highly dynamic performance is required. In addition, they are applied in spindle and compressor drives, often requiring speeds in the range of 100,000 rpm. These machines are always fed by frequency converters.

In high-speed synchronous machines, the permanent magnets on the rotor risk to be demagnetised due to losses heating up the rotor. These losses are partly caused by eddy currents occurring in the conducting parts of the rotor.

Due to the pulse pattern of the supply voltage, the converter causes not only a fundamental component of motor voltage, but also a spectrum of harmonics, also in dependence of the applied modulation method. Fig. 1 shows such a pulse pattern as well as the corresponding fundamental component of a converter supply voltage. The additional harmonics cause additional waves of the magnetic field, which in turn lead to the eddy currents mentioned above. These eddy currents depend to a large extent on the frequency.

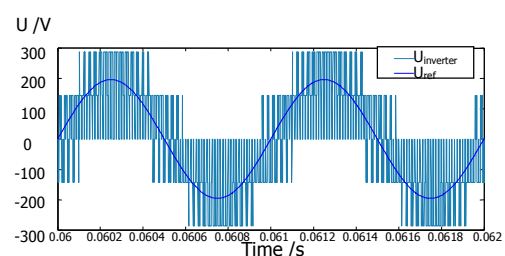


Abb. 1: Umrichterausgangsspannung und zugehörige Grundschwingung U_{ref}

Fig. 1: Converter output voltage with corresponding fundamental component U_{ref}

In order to determine the frequency-dependent rotor losses, the PMSM model is enhanced by so-called equivalent circuit elements. The equivalent circuit diagram of the PMSM is added by constant equivalent circuit elements, so that the frequency behaviour of the rotor losses is reflected appropriately. According to our experiences, a good approximation can be achieved by using max. six R - L combinations switched in parallel.

The simulation model elaborated at the IAL simulates a complete drive system, being implemented in MATLAB® Simulink®. Its basic structure is shown in fig. 2, consisting of a converter, a filter, if necessary, a PMSM and a control. Since a complete drive is implemented, it can be analysed, how the single components affect each other.

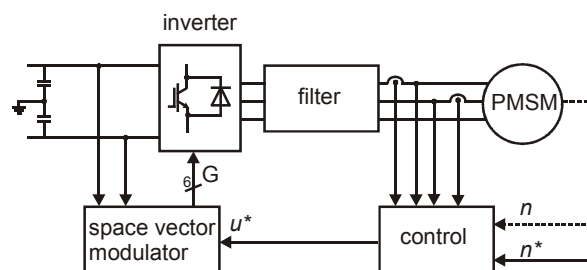


Abb. 2: Prinzipieller Aufbau des Antriebsmodells

Fig. 2: Basic structure of the drive model

On the basis of the simulation model, the user is able to evaluate the transient behaviour of the drive system before realisation of the drive. This also includes the motor losses, which result from the harmonics generated by the converter. The temperature rise provoked by this type of rotor losses can thus be estimated, allowing to determine one of the risk factors responsible for demagnetisation. The evaluation of the modulation methods used in the converter concerning their effect on the amount of rotor losses is another possible application. The frequency-dependent losses can be reduced by using filters, depending on the type of driving system. On the basis of simulation models, different filter topologies can be examined and compared with each other. In this way, the model is also suitable for filter optimisation.

Das am Institut erstellte Simulationsmodell bildet ein komplettes Antriebssystem nach und ist in MATLAB® Simulink® implementiert. Abb. 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau. Es besteht aus Umrichter, eventuell notwendigem Filter, PMSM und einem Regler. Durch die Implementierung des gesamten Antriebs ist eine Betrachtung der Einflüsse der einzelnen Komponenten aufeinander möglich.

Das Simulationsmodell bietet dem Nutzer die Möglichkeit, vor der Realisierung des Antriebs Aussagen über das transiente Verhalten des Antriebssystems zu treffen. Hierzu zählt die Betrachtung der Verluste des Motors, die durch die vom Umrichter erzeugten Oberschwingungen verursacht werden. Der durch diesen Teil der Rotorverluste hervorgerufene Temperaturanstieg in den Permanentmagneten kann abgeschätzt und so einer der Risikofaktoren für die Entmagnetisierung ermittelt werden. Eine weitere Einsatzmöglichkeit ist die Bewertung der im Umrichter verwendeten Modulationsverfahren bezüglich ihres Einflusses auf die Höhe der Rotorverluste. Die frequenzabhängigen Verluste können je nach Antriebssystem eventuell mit Hilfe von Filtern reduziert werden. Verschiedene Filtertopologien können mittels Simulationsmodell untersucht und verglichen werden. Das Modell ist damit auch zur Filteroptimierung einsetzbar.

Geberloser Betrieb von permanentmagneterregten Synchronmotoren kleiner Leistung bis Drehzahl Null

von Dipl.-Ing. Karsten Wiedmann

Im Bereich der Servotechnik kleiner und mittlerer elektrischer Leistungen stellt der permanentmagneterregte Synchronmotor (PMSM) auf Grund seiner dynamischen Eigenschaften den wohl wichtigsten Motortyp dar.

Ein zentrales Thema bei der Entwicklung von Servoantrieben ist es, eine geberlose Regelung des Motors zu ermöglichen, um zusätzliche Kosten zu vermeiden und eine kompaktere Bauweise des Motors umsetzen zu können. Im oberen Drehzahlbereich ist es möglich, anhand der durch die Permanentmagneten erzeugten Gegeninduktionsspannung die Rotorlage zu bestimmen. Im unteren Drehzahlbereich, wo die Gegeninduktionsspannung zu gering ist, gibt es mehrere Ansätze, einen geberlosen Betrieb zu realisieren.

Alle gegenwärtigen Verfahren zur geberlosen Rotorlagebestimmung im unteren Drehzahlbereich basieren auf der Detektion der magnetischen Anisotropie von Längs- und Querinduktivität des Motors. In Abb. 1 ist der Querschnitt des Rotors eines PMSM dargestellt. Es ist zu erkennen, in welche Richtung die Achse der Längs- (d-Achse) bzw. der Querinduktivität (q-Achse) gerichtet ist. Eine unterschiedliche Induktivität in d- und q-Achse ist Voraussetzung für die geberlose Rotorlagebestimmung.

Wird eine sich zeitlich schnell ändernde Spannung an den Motor angelegt, so fällt die Spannung im Ständerstrang fast ausschließlich an der rotorlageabhängigen Induktivität ab. Der erregte Strom wird somit durch die Rotorlage moduliert und kann dementsprechend ausgewertet werden. Die Signalstärke ist proportional zur Differenz von Längs- und Querinduktivität. Anhand der Form der sich zeitlich schnell ändernde Spannung unterscheiden sich die verschiedenen Ansätze der geberlosen Rotorlagebestimmung. Zu den Bekanntesten zählen die Inform-Methode und die Hochfrequenzinduktion (HF-Induktion). Die Inform-Methode wurde von Prof. Schrödl, TU Wien, entwickelt. Den Ansatz der HF-Induktion verfolgen u.a. Profs. Holtz und

Sensorless Control of Low-power Permanent Magnet Synchronous Motors Down to Zero Speed

by Dipl.-Ing. Karsten Wiedmann

Due to its dynamic properties, the permanent magnet synchronous motor (PMSM) can be seen as the most important type of motor in low- and medium-power servo technology.

In research and development of servo drives, one central goal is to develop motors with sensorless control, in order to avoid supplementary costs and to realise a more compact motor design. In the higher speed range, it is possible to determine the rotor position, based on the back EMF voltage generated by the permanent magnets. For lower speeds, where the back EMF voltage is too low, there exist several approaches to realise sensorless control.

All present methods for sensorless control in the lower speed range base on the detection of the magnetic anisotropy of the motor's d- and q-axis inductance. Fig. 1 presents the cross section of a PMSM rotor, clearly showing the direction of the d- and q-axis. Different inductances in d- and q-axis are a precondition for sensorless control.

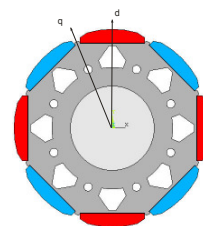


Abb. 1: Rotor eines permanentmagneterregten Synchronmotors

Fig. 1: Rotor of a permanent magnet synchronous motor

If a quickly changing voltage is applied to the motor, the voltage of the stator phase appears almost exclusively at the rotor-position-dependent inductance. The excited current is consequently modulated by the rotor position and can be evaluated correspondingly. The signal intensity is proportional to the difference between d- and q-axis inductance. Depending on the shape of the quickly changing voltage,

several different approaches of sensorless control can be distinguished. The most well-known approaches are the Inform method and the high-frequency induction. The Inform method has been developed by Prof. Schrödl, TU Wien. The HF induction approach is pursued among others by Profs. Holtz and Kennel, Bergische Universität Wuppertal and Prof. Lorenz, WEMPEC. In case of the Inform method, the pulse pattern of the converter used is interrupted, in order to generate defined voltage pulses. With respect to the HF induction, the original set voltage is superimposed by a continuous high-frequency voltage signal and then fed into the converter. The evaluation of the modulated current depends on the approach which has been chosen. Moreover, the two methods differ with respect to their susceptibility to faults, the steady-state accuracy of estimate position and their implementation in practice. As a result of comprehensive investigations, the IAL has adopted the approach of alternating high-frequency induction. Here, a high-frequency sinusoidal voltage space vector is induced in the direction of the estimated rotor position. The excited current is fed into a monitoring control loop, analysing the estimated rotor position. Compared to other approaches, this method is especially advantageous, because it can easily be realised and integrated into existing drive controls.

Besides the basic method of the sensorless rotor displacement angle estimation, the IAL also investigates the effects of the applied power electronics. Due to the non-linear properties of the converter, the generated voltage space vector and consequently the modulated current differ from the ideal. This may cause a wrong rotor position estimation. Our goal is to minimise the influence of the converter on the accuracy of estimate by use of appropriate compensation methods.

Another subject of research at the IAL is the specific manipulation of magnetic anisotropies of the rotor. It is analysed among others, how magnetic anisotropies of the rotor can be changed by design measures. The difference of d- and q-axis inductance can for example be increased, in order to increase the signal intensity. In this respect, it must be assured that the performance of the servo motor is affected as minimally as possible.

Kennel, Bergische Universität Wuppertal und Prof. Lorenz, WEMPEC. Bei der Inform-Methode wird das Pulsmuster des eingesetzten Umrichters unterbrochen, um definierte Spannungspulse zu erzeugen. Bei der HF – Induktion wird der ursprünglichen Sollspannung ein kontinuierliches, hochfrequentes Spannungssignal überlagert und dem Umrichter zugeführt. Abhängig vom Ansatz, muss die Auswertung des modulierten Stromes auf eine andere Art und Weise erfolgen. Weiterhin unterscheiden sich die Verfahren in ihrer Störanfälligkeit, der stationären Schätzgenauigkeit und der praktikablen Umsetzung. Das IAL verfolgt nach umfangreichen Untersuchungen den Ansatz der alternierenden Hochfrequenzinduktion. Bei der alternierenden Hochfrequenzinduktion wird ein hochfrequenter sinusförmiger Spannungsraumzeiger in Richtung der geschätzten Rotorlage induziert. Der dadurch erregte Strom wird einem Beobachterregelkreis zugeführt, der die geschätzte Rotorlage ausgibt. Dieses Verfahren hat gegenüber anderen insbesondere durch eine einfache Umsetzung und Integration in die vorhandene Antriebsregelung Vorteile.

Neben dem grundsätzlichen Verfahren der geberlosen Polradwinkelschätzung untersucht das IAL weiterhin die Einflüsse der eingesetzten Leistungselektronik. Durch die nichtlinearen Eigenschaften des Umrichters weichen der erzeugte Spannungszeiger und somit auch der modulierte Strom von der idealen Form ab. Dies kann eine fehlerhafte Rotorlagenschätzung zur Folge haben. Ziel ist es, durch entsprechende Kompensationsverfahren die Einflüsse des Umrichters auf die Schätzgenauigkeit zu minimieren.

Ein weiteres Forschungsgebiet des IAL ist die gezielte Beeinflussung der magnetischen Anisotropien des Rotors. U.a. wird analysiert, in wieweit durch konstruktive Maßnahmen die magnetische Anisotropie des Rotors verändert werden kann. Beispielsweise kann die Differenz von d- und q-Induktivität vergrößert werden, um die Intensität des ausgewerteten Stromes zu erhöhen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Performance des Servomotors nur minimal beeinflusst wird.

Modell zur analytischen Berechnung eines Hybridschrittmotors

von Dipl.-Ing. C. Stübiger

Schrittmotoren sind Synchronmotoren, die in kleinen, definierten Schritten bewegt werden können. Sie werden vor allem als Stellantriebe eingesetzt, z.B. in Computer-Laufwerken oder Fertigungsanlagen. Die hier behandelten Hybridschrittmotoren (HSM) vereinen die Vorteile von Reluktanz- und permanentmagneterregten Schrittmotoren. Durch eine sehr feine Zahnteilung der Rotor- wie Statorzähne kann mit dem Reluktanzprinzip ein sehr kleiner Schrittwinkel erreicht werden ($\alpha = 0,36^\circ$). Durch einen in axialer Richtung magnetisierten Permanentmagneten wird zusätzlich ein Selbsthaltungsmoment erzeugt.

Die bestromte Statorwicklung verursacht ein radial-tangential verlaufendes Feld. Es gibt zusätzlich durch den Magnet ein radial-axial ausgerichtetes Feld. Das resultierende Feld ist dementsprechend dreidimensional. Daher ist es nicht möglich, das Problem in einem zweidimensionalen Finite-Elemente-Verfahren zu berechnen. Zur Simulation des Motors muss eine dreidimensionale Berechnung durchgeführt werden, die aufgrund der komplizierten Geometrie und der feinen Strukturen (Luftspaltlänge $\delta = 60 \mu\text{m}$, Feinzahnbreite 1,2 mm) als FE-Rechnung nur mit sehr großem Zeitaufwand zu lösen ist. Für Entwurf, Grunddimensionierung und Optimierung sind keine zufriedenstellenden Ergebnisse in überschaubaren Zeitrahmen zu erwarten. Es wird daher ein analytisches Ersatzmodell angestrebt, welches die zeitnahe Berechnung des Betriebsverhaltens von HSM ermöglicht. Im Rahmen eines Drittmittelprojektes wird ein Werkzeug zur Auslegung und Berechnung von HSM erstellt. Anhand von Geometrieparametern können zeitnah das Betriebsverhalten sowie charakteristische Größen ermittelt werden, so dass schnell ein Überblick über die Auswirkungen von Geometrieänderungen gewonnen werden kann.

Die Berechnung erfolgt über ein magnetisches Ersatzschaltbild, das den magnetischen Kreis des HSM nachbildet. In diesem sind die Luftspaltleitwerte, Streuleitwerte, sättigungsabhängige magnetische Leitwerte der Stator- und Rotorzähne sowie axial gerichtete Leitwerte in Statorjoch, Hauptzähnen und Rotor enthalten.

Model for Analytical Calculation of Hybrid Stepping Motors

by Dipl.-Ing. C. Stübiger

Stepping motors are synchronous motors able to move in small, well-defined steps. They are mainly used as positioning drives, for example in computer drives or industrial facilities. Hybrid stepping motors (HSM) combine the main advantage of two stepping motor principles: Small increments (step size $\alpha = 0.36^\circ$) are made possible by the fine tooth structure, the axially magnetised permanent magnet facilitates an additional detent torque.

The excited stator winding causes a magnetic field in the tangential-radial plane of the motor, as is the case in most common electrical machines. However, there is an additional field of the permanent magnet which is directed in radial-axial direction. This specific property makes it impossible to calculate hybrid stepping motors with common 2D finite element (FE) methods. To simulate the motor, it is necessary to build up a 3D FE model. However, due to the complicated geometry and fine structures (air gap $\delta = 60 \mu\text{m}$, fine tooth width 1.2 mm), the calculation of such a model takes up a great deal of time which makes this tool insufficient in the design stage of a motor. For this reason, a simple, fast model based on analytical calculations is sought to calculate the effects of design changes already in the development phase. The project is financed by third-party funding.

Calculation of the HSM is made possible by a magnetic equivalent circuit modelling the magnetic circuit of a HSM. Included in the equivalent circuit are magnetic permeances modelling the air gap, diffusion effects, the stator and rotor yoke in axial and horizontal direction and the permanent magnet. The windings' magnetomotive force is simulated as magnetic voltage sources, as is the permanent magnet. By means of electrical network calculation, it is possible to determine the flux in each branch of the magnetic circuit and in turn to calculate the appropriate level of saturation by means of iteration, as the level of saturation affects the value of magnetic permeances. The motor's torque can be calculated from the derivative of the magnetic flux distribution in

the air gap. During this work, an optimum method for determining the air gap permeance is sought. There are several promising approaches including FE simulation, the method of conformal mapping or permeance spatial harmonics. Results will be verified by measurements, and the magnetic model will be further modified, if necessary. In further steps, it is planned to develop a model for the dynamic behaviour of HSM as well as thermal influences, as those have not been researched sufficiently yet.

As a result of this work, a software will be developed that enables the user to simply and time-efficiently calculate stationary as well as dynamic behaviour of a hybrid stepping motor based on given geometry, winding and excitation data. Especially in the development stage, this is an enormous advantage over simulating variants of motors in 3D FE calculation.

Die Durchflutung der Statorwicklungen und der Permanentmagnet wirken im Ersatzschaltbild als Spannungsquellen. Anhand der Regeln der Netzwerkberechnung werden die Werte für den magnetischen Fluss im Luftspalt bestimmt und iterativ der Einfluss der Sättigung auf die Leitwerte der weichmagnetischen Abschnitte ermittelt. Aus der Änderung der einzelnen Flussanteile in Abhängigkeit von der Rotorposition kann das Drehmoment des Motors bestimmt werden. Es wird nach dem optimalen Verfahren zur Bestimmung von lageabhängigen Luftspaltleitwerten gesucht. Diese können z.B. durch numerische Simulation, durch konforme Abbildungen oder durch Wellendarstellung gefunden werden. Die Ergebnisse werden durch Messungen verifiziert und das Ersatzmodell ggf. um weitere Elemente verfeinert. Im nächsten Schritt werden auch thermische Einflüsse auf die ESB-Elemente sowie dynamische Vorgänge in dem Modell berücksichtigt. Diese sind bisher nur sehr ungenau beschrieben und bieten großen Spielraum für Verbesserungen.

Als Ergebnis der Arbeit wird eine Software entstehen, die es ermöglicht, relativ schnell das stationäre und das dynamische Betriebsverhalten von Hybridschrittmotoren aufgrund vorgegebener Geometrie-, Wicklungs- und Speisedaten zu bestimmen. Dies birgt vor allem im Entwicklungsstadium eine große Zeitersparnis gegenüber einem nur auf FEM-Variantenrechnungen basierenden Vorgehen.

Untersuchung des Teilwicklungsanlaufs von Induktionsmaschinen mit Käfigläufer

von Dipl.-Ing. Rainer Helmer

Bei Einbaumotoren für Kältekompressoren (halbhermetische Kolbenverdichter) sind zum Anlauf sog. Part-Winding-Schaltungen [PW] (Teilwicklungsanlauf) weit verbreitet, bei denen die Ständerwicklung nicht als Ganzes, sondern zunächst nur einige Spulengruppen auf das Netz geschaltet werden. Die ungleichmäßige Stromverteilung in den Ständernuten bei der Anlaufschaltung führt bei PW-Schaltungen zu zusätzlichen Wicklungsoberfeldern und dadurch im Zusammenwirken mit den Läuferfeldern zu zusätzlichen asynchronen und synchronen Oberwellenmomenten. Diese Oberfeldmomente erzeugen z.T. tiefe Einsattelungen in der Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie und wirken sich damit ggf. ungünstig auf den Hochlauf des Motors aus. In Zusammenarbeit mit einem großen Motorhersteller von PW-Schaltungen wurde im Rahmen einer Diplomarbeit von Herrn Dipl.-Ing. Wang ein MATLAB-Simulationsprogramm erstellt, mit dem die zusätzlichen Wicklungsoberfelder und Oberwellendrehmomente verschiedener PW-Schaltungen untersucht werden können. Das Simulationsprogramm baut auf einem von Dr.-Ing. Kai Brune im Rahmen seiner Dissertation entwickelten Nachrechenprogramm für Induktionsmaschinen mit fehlenden Ganzformspulen gleicher Weite in der Ständerwicklung auf.

Vorstellung des Rechenverfahrens:

In dem erstellten Berechnungsprogramm wird mit den einzelnen Spulen der Induktionsmaschine als kleinster Symmetrieeinheit gearbeitet. Abb. 1 zeigt das verwendete Ersatzschaltbild.

Hierin werden für das Grundfeld sowie alle gewünschten Oberfelder die Matrizen der Gegeninduktivitäten $M_{l,k,v}$ aller N_1 Spulen erstellt. Die Rückwirkung des Läufers auf die primären Felder wird durch Multiplikation der Induktivitäten mit dem Felddämpfungsfaktor $\underline{d}_v$ realisiert. Der Felddämpfungsfaktor ist eine elegante Methode, die Rückwirkung der kurzgeschlossenen Läuferwicklung auf Ständerdrehfelder nach der Lenz'schen Regel zu berücksichtigen und so auf das resultierende Luftspaltfeld zu schließen. In

Investigation of Part-winding Start Used in Cage Induction Motors

by Dipl.-Ing. Rainer Helmer

For the start-up of integrated motors applied for refrigerating compressors (semi-hermetic reciprocating compressors), it is common to use so-called part-winding start [PW]. Here, not the complete stator winding, but some coil groups only are first connected to the mains. The uneven current distribution in the stator slots during start-up causes additional spatial harmonics during PW start and thus, together with spatial harmonics, additional asynchronous and synchronous harmonic torques. These harmonic torques partly provoke deep dips in the speed-torque characteristic, having a negative effect on the motor start-up. In cooperation with an important motor manufacturer of such motors, Dipl.-Ing. Wang has developed a MATLAB simulation program during his diploma thesis, allowing to examine additional spatial harmonics and harmonic torques of different winding designs for PW start. The simulation program is based on a calculation program for induction motors with dummy coils in the stator winding, developed by Dr.-Ing. Kai Brune within the scope of his dissertation.

Calculation Scheme:

The developed calculation scheme uses the individual coils of the induction machine as the smallest symmetry unit. Fig. 1 shows the equivalent circuit diagram which was applied.

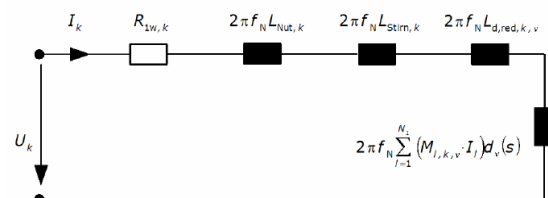


Abb. 1: Ersatzschaltbild einer k-ten Spule für das Feld der Polpaarzahl v

Fig. 1: Equivalent circuit of the kth coil for a spatial harmonic v

Here, the matrices of the mutual inductances $M_{l,k,v}$ of all N_1 stator coils are analysed for the fundamental spatial harmonic as well as for all other spatial harmonic fields in question. The

rotor reaction on the primary fields is realised by multiplying the inductances with the field damping factor $\underline{d}_v$. The field damping factor is an elegant approach to consider the reaction of the short-circuited rotor winding on rotating fields in the stator according to Lenz's Law, thus allowing to figure out the resulting air-gap field. In the MATLAB developed program, every single coil can have a different coil pitch W_1 and number of turns w_{sp} . It can even be considered individually for each coil, how the coil side is arranged in the upper and lower layer of the slot. In principle, every unsymmetrical double-layer winding can thus be analysed by the developed program.

Comparison of Simulation and Test Results:

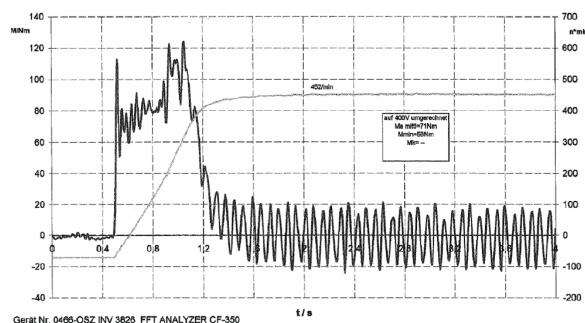


Abb. 2: Gemessener Zeitverlauf von Drehmoment und Drehzahl beim Hochlauf mit PW-Schaltung

Fig. 2: Measured time response of torque and speed during run-up with part-winding starter

Fig. 2 shows the time response of torque and speed during run-up of a compressor drive during PW start. The motor shall accelerate to its synchronous speed $n_1 = 1500$ rpm, but stops at $n = 450$ rpm! This is provoked by the spatial harmonic $\nu = 4p$, as could be proved by our program. This spatial harmonic does not occur in symmetrical three-phase stator windings.

Fig. 3 shows the calculated stationary speed-torque characteristic for the part-winding start analysed in fig. 2.

In fig. 3, the torque dip caused by the harmonic $\nu = 4p$ can clearly be seen. It even leads to negative accelerating torques, thus stopping the start-up at $n = 450$ rpm! For other winding designs which do not show pronounced pull-up torques, a good match of test and simulation result has been achieved, too.

dem erstellten MATLAB-Programm kann jede einzelne Spule eine unterschiedliche Spulenweite W_1 und -windungszahl w_{sp} besitzen. Auch die Anordnung der Spulenseite in der Nutober- oder Unterlage kann für jede Spule einzeln berücksichtigt werden. Somit kann mit dem erstellten Programm prinzipiell jede unsymmetrische Zweischichtwicklung nachgerechnet werden.

Vergleich von Simulations- und Messergebnissen:

Abb. 2 zeigt die Zeitverläufe von Drehmoment und Drehzahl beim Hochlauf eines Antriebs mit einer PW-Schaltung. Der Antrieb soll auf seine synchrone Drehzahl $n_1 = 1500 \text{ min}^{-1}$ beschleunigen, bleibt aber bei $n = 450 \text{ min}^{-1}$ hängen! Verantwortlich für das „Hängenbleiben“ ist ein Oberfeld der Ordnungszahl $\nu = 4p$, wie mittlerweile mit dem erstellten Programm nachgewiesen werden konnte. Dieses Feld tritt bei symmetrischen, dreisträngigen Ständerwicklungen überhaupt nicht auf.

Abb. 3 zeigt die mit dem Programm berechnete stationäre Drehmoment-Drehzahlkennlinie in der PW-Anlaufschaltung der in Abb. 2 messtechnisch untersuchten Maschine.

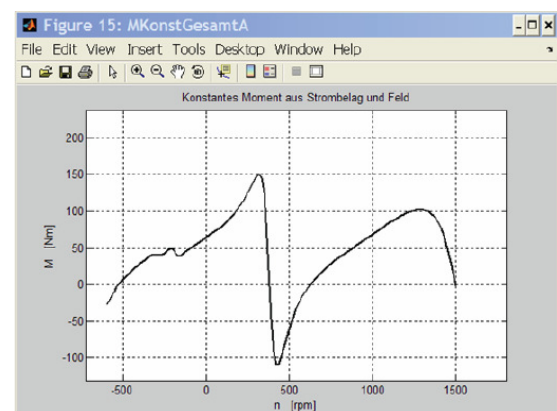


Abb. 3: Berechnete stationäre Drehmoment-Drehzahlkennlinie

Fig. 3: Calculated stationary speed-torque characteristic

In Abb. 3 ist deutlich der Drehmomentsattel, hervorgerufen durch das Feld $\nu = 4p$, zu erkennen, der sogar zu negativen Beschleunigungsmomenten führt und damit einen Hochlauf über $n = 450 \text{ min}^{-1}$ hinaus verhindert! Auch bei anderen PW-Schaltungen, die keine ausgeprägten Sattelmomente aufweisen, zeigt sich eine gute Übereinstimmung von Messung und Rechnung.

Sättigungsverhalten von doppeltgespeisten Asynchrongeneratoren

von Dipl.-Ing. Sebastian Tegeler

Doppeltgespeiste Asynchrongeneratoren werden in großer Stückzahl im Bereich der Windenergie eingesetzt. Durch dieses Generatorkonzept wird für einen Drehzahlstellbereich von 1:2 lediglich ein Drittel der Bemessungsleistung als Umrichterleistung benötigt.

Die Vorausberechnung verschiedener Lastpunkte erfolgt bei diesen Generatoren mit Hilfe des T-Ersatzschaltbildes unter Berücksichtigung der nichtlinearen Hauptreaktanz. Dabei wird statorseitig die Wirk- und Blindleistung vorgegeben, der notwendige Statorstrom bestimmt und mit Hilfe der nichtlinearen Hauptreaktanz auf den Magnetisierungsstrom geschlossen. Anschließend kann der nötige Läuferstrom aus der Knotenpunktbedingung im T-Ersatzschaltbild errechnet werden. Die Bestimmung der Hauptreaktanz bereitet jedoch Schwierigkeiten aufgrund der doppelseitigen Speisung.

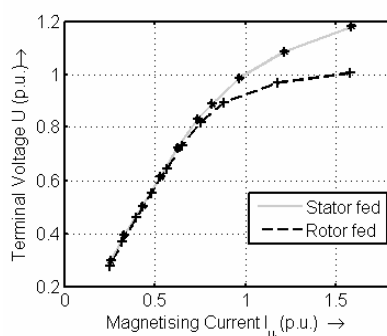


Abb. 1: Gemessene Leerlaufkennlinien eines 1,5 MW Generators

Fig. 1: Measured no-load characteristics of a 1.5 MW generator

In Abb. 1 ist die stator- und rotorseitig gemessene Leerlaufkennlinie eines doppeltgespeisten Asynchrongenerators dargestellt. Die Kennlinie der rotorseitigen Speisung wurde hierbei auf Statorgrößen umgerechnet. Auffällig ist dabei das unterschiedliche Sättigungsverhalten beider Leerlaufkennlinien, das je nachdem, ob die notwendige Magnetisierungsblindleistung rotor- oder statorseitig aufgebracht wird, unterschiedlichen Einfluss auf die Hauptreaktanz nimmt. Da dieser Effekt durch herkömmliche Nachrechnungsprogramme nicht erfasst wird, kann der Rotorstrom bisher nicht exakt vorausberechnet werden.

Saturation Behaviour of Doubly Fed Induction Generators

by Dipl.-Ing. Sebastian Tegeler

Doubly fed induction generators are used in large quantities for wind energy applications. For a speed setting range of 1:2, this generator concept just requires a third of the rated power as converter power.

The different load points are predicted for these generators by using the T equivalent circuit diagram considering the nonlinear magnetising reactance. For this purpose, the active and reactive power is preset for the stator, the necessary stator current is determined, and then the magnetising current is figured out by means of the nonlinear magnetising reactance. In the following, the required rotor current can be calculated in the T equivalent circuit diagram according to Kirchhoff's first law. Since the generator is doubly fed, it is difficult to determine the magnetising reactance.

Fig. 1 shows the no-load characteristics measured for stator and rotor of a doubly fed induction generator. The rotor fed characteristic has been converted to stator variables. It can be noticed that the saturation behaviour of the two no-load characteristics is different and, depending on whether the required magnetising reactive power is fed from the rotor or stator, has a different influence on the magnetising reactance. Since this effect is not considered in conventional calculation programs, the rotor current cannot be predetermined precisely so far. As a consequence, the machines have to be oversized with a safety margin. The predicted rotor current deviates on average about approx. 5 % and up to 10 % for capacitive load points. This correlation is explained by the phasor diagrams shown in fig. 2a and b, where the induced voltage U_r is larger for capacitive load than for reactive load. As can be seen in fig. 1, the magnetising current increases, too, and the deviation between the stator and rotor fed characteristics is getting larger. For this reason, there are larger deviations when predicting the rotor current for capacitive load than for inductive load.

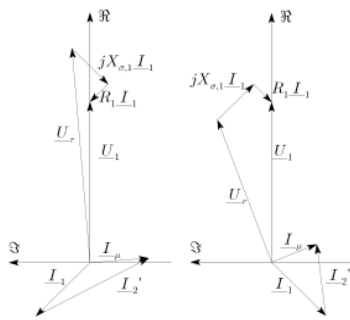


Abb. 2a: Zeigerbild, kapazitiver Betrieb

Fig. 2a: Phasor diagram, capacitive load

Abb. 2b: Zeigerbild, induktiver Betrieb

Fig. 2b: Phasor diagram, reactive load

Within the scope of this project, a method is developed to allow a more precise prediction of the magnetising demand of doubly fed machines. The machine geometry used by our project partner shows axial cooling channels in the rotor core, considered in conventional analytical calculation programs by means of a yoke relief factor. Tests have proved that this yoke relief factor depends on the saturation and must be calculated correspondingly. For this reason, the cooling channels (see fig. 3) were included in the calculation of the magnetic circuit in order to determine the magnetising current. Fig. 3 shows an “unwinded” rotor with axial cooling channels as well as the partial fluxes above, between and below the cooling channels. With the no-load characteristic derived from this calculation, the rotor current can be predicted on average with an accuracy of 2.5 %.

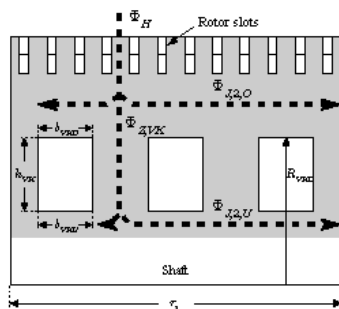


Abb. 3: Berücksichtigung von axialen Kühlkanälen im Rotor

Fig. 3: Consideration of axial cooling channels in the rotor

This research project is realised in cooperation with a manufacturer for wind generators and is funded by “ForWind”, the Center for Wind Energy Research of the universities Oldenburg and Hannover, the IAL being a member of it. “ForWind” was founded in August 2003 supported by the Land Niedersachsen and unites the competences of the universities of Oldenburg and Hannover in the field of wind energy utilisation and is furthermore the competent contact partner for all questions concerning wind energy.

den, und die Maschinen müssen mit einem Sicherheitszuschlag überdimensioniert werden. Die Abweichungen bei der Vorausberechnung des Rotorstromes betragen durchschnittlich ca. 5% und weichen gerade bei kapazitiven Lastpunkten bis zu 10% ab. Diesen Zusammenhang verdeutlichen die Zeigerbilder in Abb. 2a und 2b, worin die induzierte Spannung U_r im kapazitiven Bereich einen größeren Wert annimmt als im induktiven Betriebsfall. Damit steigt nach Abb. 1 auch der Magnetisierungsstrom, wobei die Abweichungen zwischen der stator- und der rotorseitig gemessenen Kennlinie größer werden. Aus diesem Grund ergeben sich bei der Vorausberechnung des Rotorstroms für kapazitive Betriebspunkte größere Abweichungen als wenn ein induktiver Lastfall berechnet wird.

Im Rahmen dieses Projektes wird ein Verfahren entwickelt, das eine genauere Vorausberechnung des Magnetisierungsbedarfs der Maschine bei doppelseitiger Speisung ermöglicht. Bei der vom Projektpartner verwendeten Maschinengeometrie sind axiale Kühlkanäle im Rotorblechpaket eingebracht, die in herkömmlichen analytischen Berechnungsprogrammen mittels eines Jochentlastungsfaktors berücksichtigt werden. Untersuchungen haben nachgewiesen, dass dieser Jochentlastungsfaktor sättigungsabhängig ist und entsprechend berechnet werden muss. Aus diesem Grund wurden die Kühlkanäle gemäß Abb. 3 in die Magnetkreisrechnung zur Ermittlung des Magnetisierungsstromes einbezogen. Abb. 3 zeigt eine abgewinkelte Darstellung des Rotors mit axialen Kühlkanälen sowie den Teilflüssen, die oberhalb, zwischen und unterhalb der Kühlkanäle verlaufen. Mit Hilfe der aus dieser Magnetkreisrechnung gewonnen Leerlaufkennlinie kann der Rotorstrom im Durchschnitt mit einer Genauigkeit von 2,5% vorausbestimmt werden.

Dieses Forschungsprojekt erfolgt in Zusammenarbeit mit einem Hersteller von Windgeneratoren und wird über das Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg und Hannover „ForWind“ gefördert, in dem das IAL Mitglied ist. „ForWind“ wurde im August 2003 mit Unterstützung des Landes Niedersachsen gegründet, fasst die Kompetenzen der Universitäten Oldenburg und Hannover im Bereich der Windenergienutzung zusammen und ist kompetenter Ansprechpartner in allen Fragen zum Thema Windenergie.

Qualifikation von Motorenbauteilen

von Dipl.-Ing. J.-P. Jastrzembski

Zur Qualifikation eines Motorenbauteils wurde das IAL mit der Durchführung umfangreicher Versuchsreihen beauftragt. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEH) der Leibniz Universität Hannover werden dazu insgesamt 26 in verschiedenen Varianten gefertigte Probekörper unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt, um sie beschleunigt altern zu lassen.

Die Probekörper durchlaufen in mehreren Zyklen, die bis zu vier Wochen lang sein können, insgesamt vier verschiedene Beanspruchungen. Dabei werden sie entsprechend den bei realen Maschinen auftretenden Belastungen sowohl mit mechanischen als auch mit elektromagnetischen Kräften beaufschlagt. Nach einem Zyklus wird an jedem Probekörper eine Diagnosemessung vorgenommen und so dessen Zustand in Abhängigkeit der Belastungsdauer dokumentiert.

Ein Belastungszyklus setzt sich wie folgt zusammen:

1. Klimatische Belastung: Lagerung des Probekörpers bei hoher Luftfeuchtigkeit und nachfolgend bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt (IEH)
2. Mechanische Belastung: Vibrationsbeanspruchung auf dem Rütteltisch (IEH)
3. Thermomechanische Belastung: Durch wechselnde thermische Längenänderungen bedingte mechanische Spannungen zwischen den verschiedenen Materialien, aus denen die Bauteile bestehen (IAL)
4. Elektromagnetische Belastung: Erzeugen Maxwellscher Grenzflächenkräfte durch ein magnetisches Wechselfeld (IAL)
5. Diagnosemessung: Ermittlung der Schwingungseigenschaften des Probekörpers (IAL)

Die Herausforderung für das IAL lag in diesem Projekt zum einen in der Konzeption und Realisierung der Versuchsstände für die thermomechanische und elektromagnetische Belastung und zum anderen in der automatischen Erfassung, Verarbeitung und Dokumentation einer großen Zahl von Messdaten über einen Zeitraum von mehreren Monaten hinweg.

Qualification of Motor Components

by Dipl.-Ing. J.-P. Jastrzembski

For motor component qualification, the IAL was charged with the realisation of comprehensive test series. In cooperation with the Institute of Electric Power Systems and H.V. Technology (IEH) of the Leibniz Universität Hannover, 26 test specimen of different kind are exposed to various types of stress, in order to provoke accelerated ageing.

In several cycles lasting max. four weeks, the test specimen are exposed to four different kinds of stress that are comparable to the stress occurring in real machines, e.g. they are charged with mechanical as well as with electromagnetic forces. After termination of a cycle, a diagnostic test is carried out for every test specimen, thus documenting its state depending on the period of stress.

One stress cycle comprises:

1. Climatic stress: Storage of the test specimen at high humidity and subsequently at temperatures below freezing point (IEH)
2. Mechanical stress: Vibrational stress on the vibration table (IEH)
3. Thermomechanical stress: Mechanical stress between the different component materials caused by varying thermal linear changes (IAL)
4. Electromagnetic stress: Generation of Maxwell boundary forces by means of an alternating magnetic field
5. Diagnostic test: Determination of the vibration properties of the test specimen (IAL)

For the IAL, the challenge of this project was on the one hand the design and realisation of the test benches for thermomechanical and electromagnetic stress, and on the other hand the automatic acquisition, processing and documentation of large amounts of test data during a period of several months.

A combined test bench was built, in order to carry out thermomechanical and electromagnetic stressing at the same time. For the thermomechanical stressing, it was of great importance to execute a preferably large number of fully automated heating and cooling cycles within a short period of time. At the same time, electromagnetic stress can be applied, too.

Fully automated control of the test bench is provided by a PC using the specifically adapted program LabVIEW®. All relevant data are recorded. In this way, the test specimen have already been exposed to several thousand heating and cooling cycles. The person in charge of the test is able to inform himself from afar on the test status at any time, either via web cam or via direct access to the control PC.

The diagnostic test is realised on a second test bench, also built considering the requirements of the test series. Using a power amplifier system, the test specimen are excited by electromagnetic forces of different frequencies. The amplitude of the vibration velocity is measured and plotted at several measuring points by means of a laser vibrometer. After a test specimen has terminated the complete stress cycle, a protocol is printed out automatically, thus providing an immediate and comprehensive documentation of all tests carried out at IAL.

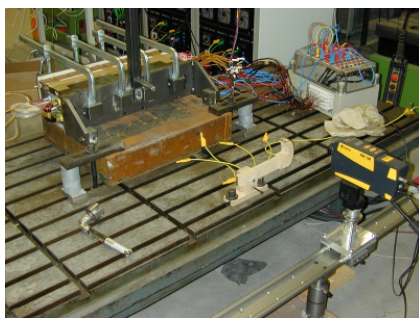


Abb. 1: Versuchsstand für die Diagnosemessungen

Fig. 1: Test bench for diagnostic tests

Zur Durchführung der thermomechanischen und elektromagnetischen Belastungsversuche wurde ein kombinierter Versuchsstand aufgebaut. Bei den thermomechanischen Belastungsversuchen kam es dabei darauf an, in möglichst kurzer Zeit vollautomatisch eine möglichst große Zahl an Erwärmungs- und Abkühlzyklen durchzuführen. Parallel dazu kann auch eine elektromagnetische Belastung realisiert werden.

Der Versuchsstand wird durch einen PC, auf dem ein speziell angepasstes LabVIEW®-Programm läuft, vollautomatisch gesteuert. Auf diese Art und Weise wurden die Versuchskörper bisher bereits einigen Tausend Aufheiz- und Abkühlzyklen unterzogen. Der Versuchsbetreuer kann sich auch aus der Ferne jederzeit über eine Webcam und natürlich den direkten Zugriff auf den Steuerungs-PC über den Status des Versuchs informieren.

Die Diagnosemessung findet auf einem zweiten Versuchsstand statt, der ebenfalls nach den Anforderungen der Versuchsreihen aufgebaut wurde. Mittels eines Leistungsverstärkersystems werden die Probekörper mit elektromagnetischen Kräften unterschiedlicher Frequenz angeregt. An mehreren Messpunkten wird die Amplitude der Schwinggeschwindigkeit mittels eines Laservibrometers erfasst und aufgezeichnet. Nachdem ein Probekörper einen kompletten Belastungszyklus durchlaufen hat, ermöglicht die automatische Erstellung eines kompletten Protokolls eine zeitnahe und umfangreiche Dokumentation über alle am IAL durchgeführten Messungen.

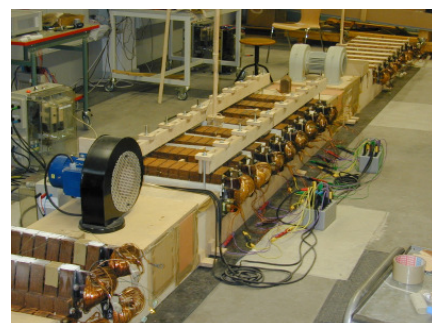


Abb. 2: Versuchsstand für die kombinierte thermomechanische und elektromagnetische Belastung

Fig. 2: Test bench for simultaneous thermomechanical and electromagnetic stressing

Prüfstand zur Charakterisierung von Halbleiterbauelementen

von Dipl.-Ing. Harald Kuhn

In den vergangenen zwei Jahren wurde am Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik ein Prüfstand zur Charakterisierung von Hochspannungs-IGBTs samt Ansteuerung aufgebaut. Schaltversuche mit verschiedenen Spannungen und Strömen bei unterschiedlichen Bauteiltemperaturen können daran durchgeführt werden. Bisher wurden 3,3 kV IGBT-Module bei bis 2,4 kA in Einzelschaltung untersucht. Eine geplante Prüfstandserweiterung wird es ermöglichen, die Bauteiltemperatur in einem Temperaturbereich von -40°C bis $+150^{\circ}\text{C}$ einstellen zu können. Daneben wird der Prüfstand für die Serienschaltung von IGBT-Modulen vorbereitet, um das transiente Schaltverhalten dieser Anordnungen bei dann bis über 4 kV zu untersuchen.

Durch Fortschritte und Unterschiede sowohl in der Halbleitertechnik als auch in der Aufbau- und Verbindungstechnik variiert das Schaltverhalten der Halbleiterbauelemente von Generation zu Generation und von Hersteller zu Hersteller. Die Halbleiterhersteller versuchen ständig, sämtliche Eigenschaften wie Durchlassverhalten, Schaltverhalten und Wärmeabfuhr zu optimieren. Die Umrichterhersteller auf der anderen Seite sind bestrebt, das komplette Umrichtersystem mit sämtlichen Komponenten zu optimieren. Die Schnittstelle zwischen Halbleiter und Umrichter stellt die Gate-Unit dar. Über diese Schnittstelle kann das Schaltverhalten der Halbleiter in Grenzen an das Umrichtersystem adaptiert werden.

Daher ist es so wichtig, die Parameter der Gate-Unit an die Eigenschaften des Halbleiters anzupassen, damit das Schaltverhalten im Umrichtersystem optimiert werden kann. Die Gate-Units bestehen aus komplexen analogen Schaltungen, in denen neben der eigentlichen Gatespannungsgenerierung zahlreiche Schutzfunktionen, wie Überspannungsschutz oder Kurzschlusserkennung, realisiert sind. In der Optimierung der Gate-Unit wird letztendlich ein Kompromiss zwischen den Verlusten und den Gradienten von Strom und Spannung im gesamten Temperatur-, Strom- und Spannungsbereich gesucht. Will der Umrichterhersteller unterschiedliche Module vergleichen, so ist es nötig, verschiedene Parameter auf der Gate-Unit für das jeweilige Bauele-

Test Bench for Characterising Semiconductor Components

by Dipl.-Ing. Harald Kuhn

Within the last two years, a test bench for characterising HV IGBT modules incl. gate unit has been developed at IAL. It serves for carrying out switching tests for different voltages and currents at different component temperatures. Up to now, single 3.3 kV IGBT modules at max. 2.4 kA have been tested in double-pulse operation. The planned expansion of the test bench will allow to adjust the component temperature within a temperature range of -40°C to $+150^{\circ}\text{C}$. In addition, the test bench will be modified to support series connection of IGBT modules, to be able to examine the transient switching behaviour of such setups, then reaching more than 4 kV.

Due to progress and differences in the field of semiconductor technology as well as in packaging and layout methods, the switching behaviour of the semiconductor components varies from generation to generation and from manufacturer to manufacturer. Semiconductor manufacturers constantly try to optimise properties like conduction behaviour, switching behaviour, heat dissipation, etc.. Converter manufacturers, however, seek to optimise the complete converter system incl. all components. The gate unit can be seen as the link between semiconductor and converter through which the semiconductors' switching behaviour can, within certain limits, be adapted to the converter system.

For this reason, it is of great importance to adapt the gate unit parameters to the semiconductor properties, in order to optimise the switching behaviour of the converter system. The gate units consist of complex analog circuits, realising besides the proper gate voltage generation several safety functions like overvoltage protection or short circuit detection. Optimising the gate unit means to find a compromise between the current and voltage losses and gradients within the complete temperature, current and voltage range. If converter manufacturers want to compare different modules, they must manually adapt various gate unit parameters for the respective component. For this purpose, the IGBT and

the internal diode must be characterised with the corresponding set of parameters. The electrical parameters of the component are plotted and evaluated for different voltages, currents and temperatures. The test bench can thus be used for an optimal characterisation of the respective gate unit/component combination by means of test series.

Besides component characterisation, it will also be possible to prove the feasibility of novel driver designs for high-power components. Goal of future research work is an online parameter adjustment depending on the operating point, in contrast to being optimised for a wide temperature, voltage and current range, in order to achieve a more efficient utilisation of the component.



Abb. 1: Halbleiterprüfstand

Fig. 1: Semiconductor test bench

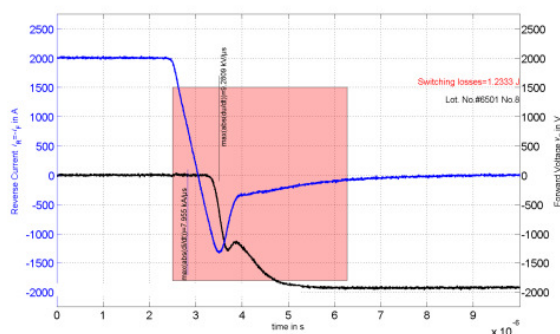


Abb. 2: Ausschaltverhalten der Diode mit charakteristischer Rückstromspitze

Fig. 2: IGBT turn-off behaviour with characteristic reverse recovery current

ment manuell anzupassen. Dazu muss der IGBT und die interne Diode mit dem jeweiligen Parametersatz charakterisiert werden. Bei verschiedenen Spannungen, Strömen und Temperaturen werden dazu die elektrischen Größen des Bauelementes aufgezeichnet und ausgewertet. So ist es möglich, durch Messreihen mit dem Prüfstand das Verhalten der Kombination aus Gate-Unit und Bauteil optimal einzustellen.

Neben der Charakterisierung von Bauteilen wird es möglich sein, die Machbarkeit neuer Treiberdesigns für Hochleistungsbauelemente zu erproben. Ziel der Forschungsarbeiten ist es, die bisher für einen weiten Temperatur-, Spannungs- und Strombereich optimierten Parameter, online arbeitspunktabhängig einstellen zu können, um das Bauelement so besser ausnutzen zu können.

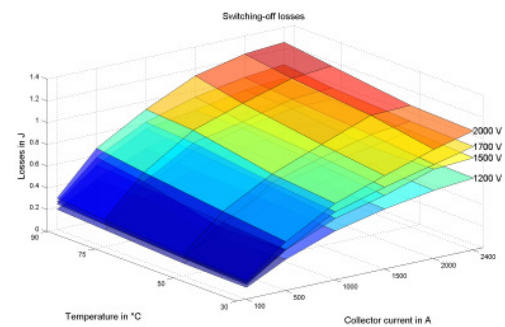


Abb. 3: Gemessene Ausschaltverluste der Diode

Fig. 3: Measured diode turn-off losses

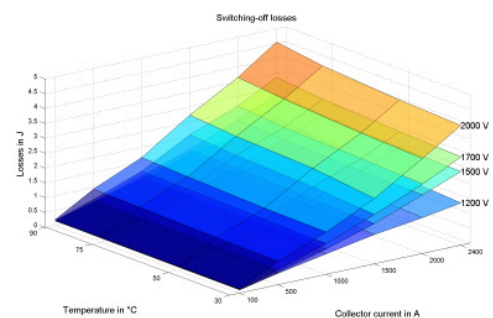


Abb. 4: Gemessene Einschaltverluste des IGBT

Fig. 4: Measured IGBT turn-on losses

Prädiktiver Stromregler für umrichter gespeiste Mittelspannungsantriebe mit LC-Filtern

von Dipl.-Ing. Tomasz Laczynski

Die Leistungshalbleiter der Mittelspannungs-umrichter werden typischerweise bei Schaltfrequenzen betrieben, die niedriger als 500 Hz sind, um Schaltverluste zu minimieren. Sie werden zum Beispiel häufig bei der Umrüstung von vorhandenen, mit Festdrehzahl am Netz betriebenen Asynchronmotoren auf umrichter gespeiste Mittelspannungsantriebe zur Energieeinsparung eingesetzt. Da die vorhandenen Motoren in der Regel nicht für einen Umrichterbetrieb konstruiert sind, ist zur Vermeidung von Isolationsproblemen und Lagerströmen der Einsatz von LC-Ausgangsfiltern erforderlich. Das LC-Filter erzeugt sinusförmige Ausgangsspannungen und damit netzähnliche Betriebsbedingungen für den Motor. Die thermisch bedingte zulässige maximale Schaltfrequenz des Umrichters ist nur geringfügig höher als die Resonanzfrequenz des LC-Filters. Gleichzeitig ist der Einsatz einer geeigneten Motorstromregelung erforderlich, die die Resonanzfrequenz des LC-Filters nicht anregt. Andernfalls würden abrupte Änderungen des Stromsollwertes erhebliche, schwach gedämpfte transiente Ströme erzeugen.

Das neue prädiktive Statorstromregelverfahren berücksichtigt das nichtlineare Verhalten des Umrichters. Der Regler erhält den Sollwert des Statorstromraumzeigers vom Fluss- und Drehzahlregler und berechnet die Schaltfunktionen für den Umrichter unter Benutzung der gemessenen oder geschätzten Augenblickswerte der Zustandsvariablen des Motors und des Filters (Abb. 1). Der Regler verwendet die Werte des Statorstromes, des Drosselstromes, der Kondensatorspannung und der Drehzahl. Ein Rotorflussbeobachter liefert zusätzlich die Werte des Magnetisierungsstromes sowie den Winkel und die Winkelgeschwindigkeit des Rotorflusses. Der Dreipunktwechselrichter erzeugt 19 verschiedene Spannungsraumzeiger. Die Statorströme des Motors sind die Regelgrößen. Durch Lösung eines zeitdiskreten Zustandsraummodells des Motors und des LC-Filters prädiziert der Regler für jeden einzelnen Spannungsraumzeiger die zugehörigen Statorstromtrajektorien. Mit Hilfe einer Gütefunktion, die die Abweichung der Sta-

Predictive Current Controller for Inverter-fed Medium Voltage Drives with LC Filters

by Dipl.-Ing. Tomasz Laczynski

In order to minimise the switching losses of the power semiconductors, high power medium voltage inverters typically operate at a switching frequency lower than 500 Hz. They are frequently applied when retrofitting existing fixed speed induction motors with medium voltage variable speed drives, in order to achieve energy savings. Since existing motors are usually not designed for inverter supply, the use of LC output filters becomes necessary, in order to avoid isolation problems and bearing currents. The LC filter creates sinusoidal output voltages and with it conditions for the machine similar to operation from the grid. The inverter's switching frequency, that is acceptable for thermal reasons, is only slightly above the resonance frequency of the LC filter. At the same time, a suitable motor current control is necessary, that does not excite the LC filter resonance. Otherwise, sudden changes of the control reference would create considerable, weakly damped transient currents.

The new predictive stator current control scheme takes into account the nonlinear nature of the inverter. The controller receives the reference value of the complex stator current vector from the flux and speed controllers and computes the switching functions for the inverter using the measured or estimated instantaneous state variables of the motor and filter (Fig. 1). The controller makes use of the values of the stator current, the choke current, the capacitor voltage and the rotational speed. Additionally, a flux observer provides values for the magnetising current, the angle and the angular velocity of the rotor flux. A NPC three-level inverter generates 19 different voltage space vectors. The machine's stator currents are the controlled variables. The controller predicts stator current trajectories which come with each of the voltage space vectors by solving a discrete-time state space model of the LC filter and motor. By means of a weighting function taking into consideration the de-

viation of the current trajectory from the stator reference current, a performance index is computed. For every sample interval, the switching state having the minimal performance index is identified, and is then generated by the inverter.

The simulation and experimental results show, that the proposed predictive current controller enables fast dynamic operation of drive systems with a LC output filter. At the same time, the average switching frequency is kept at a maximal value of 570 Hz. At nominal values of the drive, the average switching frequency is about 370 Hz and is below the resonance frequency. Fast stator control is possible (Fig. 2), LC filter resonance is not excited, and any filter oscillations due to disturbances are damped. The proper operation principle of the controller was verified by simulations of a 2.4 kV medium voltage drive and by measurements on a prototype 55 kW drive system.

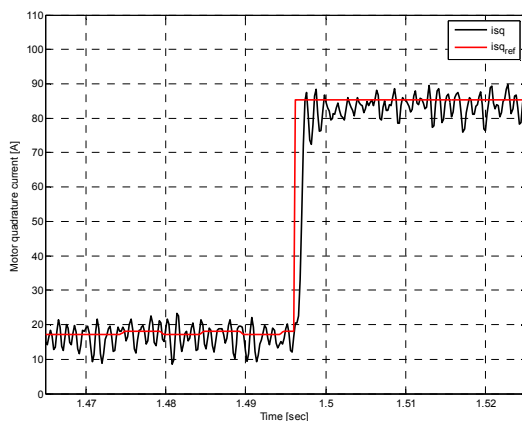


Abb. 2: Querstromkomponente (Drehzahlsollwertsprung)
Fig. 2: Quadrature current (reference speed step)

torstromtrajektorie von ihrem Sollwert berücksichtigt, wird eine Maßzahl berechnet. In jedem Abtastintervall wird ein Schaltzustand mit der kleinsten Maßzahl ermittelt und durch den Umrichter erzeugt.

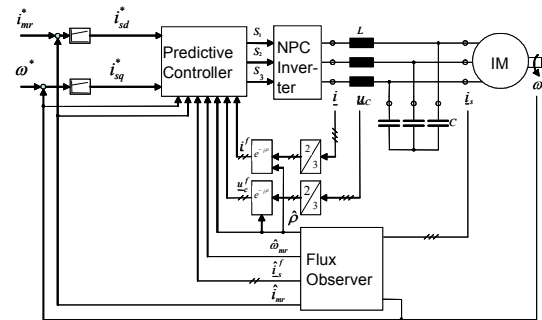


Abb. 1: Regelungsstruktur des Antriebssystems
Fig. 1: Control structure of the drive system

Die Simulations- und Versuchsergebnisse zeigen, dass der prädiktive Statorstromregler einen schnellen dynamischen Betrieb eines Antriebssystems mit einem LC-Ausgangsfiler ermöglicht. Gleichzeitig wird ein maximaler Wert der mittleren Schaltfrequenz von 570 Hz eingehalten. Im Bemessungsbetrieb des Antriebes beträgt die mittlere Schaltfrequenz ungefähr 370 Hz und liegt unterhalb der Resonanzfrequenz. Schnelle Regelung des Statorstromes ist möglich (Abb. 2), die Filterresonanz wird nicht angeregt und Oszillationen des LC-Filters aufgrund von Störungen werden gedämpft. Die korrekte Funktionsweise des Reglers wurde anhand von Simulationen eines 2,4 kV Mittelspannungsantriebes und Messungen an einem 55 kW Antrieb experimentell überprüft.

Multilevel-Umrichter

von Dipl.-Ing. Niklas Rüger
und Dipl.-Ing. Harald Kuhn

Multilevel-Umrichter werden bei Hochspannungsanwendungen eingesetzt. Sie bieten den Vorteil geringer Oberschwingungen in Spannung und Strom am Umrichter Ausgang und verteilter Spannungsbelastung der Halbleiterbauelemente im Vergleich zu einem Zwei-Punktumrichter. Im speziellen wurden hier kaskadierte Multilevel-Umrichter betrachtet. Diese bieten den Vorteil der Modularität, da hier mehrere identische Module (z.B. Vollbrücken, Abb. 2) in Reihe geschaltet werden (siehe Abb. 1). Durch die modulare Bauweise ist es möglich, den Umrichter kostengünstig zu fertigen.

Die Umrichterausgangsspannung einer Phase (v_{ox} mit $x = [1, 2, \dots, N]$ und $y = [1, 2, \dots, M]$) ergibt sich durch die additive Kombination der Ausgangsspannungen der einzelnen Module einer Phase. Für jedes Modul ergeben sich aufgrund der H-Brücken-Schaltung drei mögliche Spannungen am Ausgang ($v_{oxy} = S_{xy} \cdot v_{ixy}$). Diese sind abhängig vom Schaltzustand ($S_{xy} = [-1, 0, 1]$) und der Versorgungsspannung (v_{ixy}) des Moduls. Somit ergibt sich die Phasenspannung zu:

$$v_{ox} = \sum_{j=1}^M v_{oxj} = S_{x1} \cdot v_{ix1} + \dots + S_{xM} \cdot v_{ixM}$$

Im Weiteren wurde besonders der Einfluss der Spannungsvariation in der Versorgung der Module betrachtet. Näher untersucht wurden geringfügige Abweichungen, die z. B. durch Versorgungstoleranzen oder ungleiche Leistungsabgabe der einzelnen Module auftreten. Hierzu wird im Weiteren eine Toleranz von $\pm 20\%$ betrachtet. Es wurde eine Anordnung eines einphasigen Umrichters mit drei Modulen näher untersucht. Für diesen folgt bei einer Gleichverteilung der Spannungen im Verhältnis von 1:1:1 auf die Module eine Anzahl möglicher Ausgangsspannungsebenen von 7. Die maximal mögliche Anzahl von 27 Ausgangsspannungsebenen wird z.B. bei einer Verteilung der Spannungen über die Module im Verhältnis von 1:3:9 erreicht. Die Toleranz von $\pm 20\%$ führt zu einer Verteilung der Spannungen von 4:5:6, wobei sich 23 verschiedene Spannungsebenen ergeben.

Der Einfluss einer Spannungstoleranz auf die Leistungsverteilung der Module ist in Tabelle 1

Multilevel Converters

by Dipl.-Ing. Niklas Rüger
and Dipl.-Ing. Harald Kuhn

Multilevel converters are used for high-voltage applications. Their advantages are fewer voltage and current harmonics at the converter output and a well-distributed voltage stress for the semiconductor components in comparison with two-level converters. In this context, especially cascaded multilevel converters were investigated. Their modular design is a great advantage, because several identical modules (e.g. full bridges, fig. 2) are connected in series (see fig. 1); in this way, converters can be manufactured at low costs.

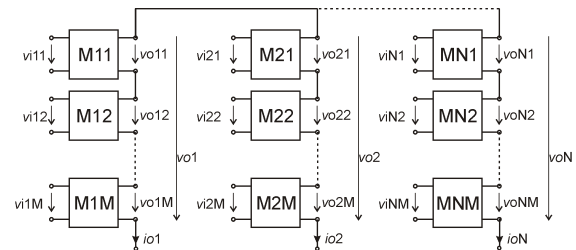


Abb. 1: Umrichtertopologie Fig. 1: Converter Topology

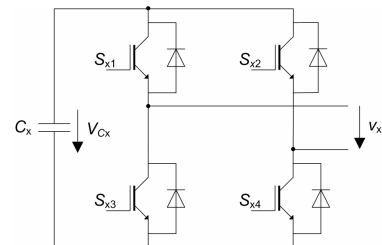


Abb. 2: Modultopologie Fig. 2: Module Topology

The converter output voltage of one phase (v_{ox} with $x = [1, 2, \dots, N]$ and $y = [1, 2, \dots, M]$) results from the additive combination of the output voltages of the single modules of one phase. Due to the H-bridge circuit, each module has three possible output voltages ($v_{oxy} = S_{xy} \cdot v_{ixy}$). They depend on the switching state ($S_{xy} = [-1, 0, 1]$) and the supply voltage (v_{ixy}) of the module. The phase voltage thus results in:

$$v_{ox} = \sum_{j=1}^M v_{oxj} = S_{x1} \cdot v_{ix1} + \dots + S_{xM} \cdot v_{ixM}$$

Especially the influence of voltage variations in

the module power supply was investigated. A closer look was taken at very small deviations which for example occur as a result of supply tolerances or an unequal power output at the single modules. This was considered in the following with a tolerance of $\pm 20\%$. For this purpose, a single-phase converter with three modules was examined. For an equal 1:1:1 voltage distribution on the modules, there are 7 possible output voltage levels. The max. possible number of 27 output voltage levels is achieved for example with a 1:3:9 voltage distribution on the modules. The tolerance of $\pm 20\%$ leads to a voltage distribution of 4:5:6, resulting in 23 different voltage levels.

The influence of a voltage tolerance on the power distribution of the modules is described in table 1. An extremely uneven power distribution requires a specific design of each module. Considerably uneven voltage distributions (1:3:9) also result in a very unfavourable load distribution. In case of a 20% deviation, the power distribution is clearly more favourable, thus enabling an identical design of the modules.

	Power supplied to output
Setup 1:1:1	
Bridge with $V_{DC} = 400\text{ V}$	33,3 %
Bridge with $V_{DC} = 400\text{ V}$	33,3 %
Bridge with $V_{DC} = 400\text{ V}$	33,3 %
Setup 1:3:9	
Bridge with $V_{DC} = 92\text{ V}$	0,3 %
Bridge with $V_{DC} = 277\text{ V}$	18,8 %
Bridge with $V_{DC} = 831\text{ V}$	80,9 %
Setup 4:5:6	
Bridge with $V_{DC} = 320\text{ V}$	17,3 %
Bridge with $V_{DC} = 400\text{ V}$	40,2 %
Bridge with $V_{DC} = 480\text{ V}$	42,5 %

Tabelle 1: Vergleich der Modulausgangsleistung bei unterschiedlichen Versorgungskonfigurationen

Table 1: Comparison of the module output power for different supply configurations

Fig. 3 and 4 compare different module voltage distributions by using different control methods. A non-consideration of the voltage deviation of the modules of 4:5:6 leads to a less favourable total harmonic distortion (THD), compared to a 1:1:1 voltage distribution. It is obviously of great advantage to use the voltage distribution of the modules as a means to reduce harmonics.

dargestellt. Bei einer extrem ungleichen Verteilung der Spannung muss jedes Modul hierauf angepasst werden. Es kommt bei einer extrem ungleichen Verteilung der Spannungen (1:3:9) auch zu einer sehr ungünstigen Lastaufteilung. Bei einer 20 % Abweichung hingegen ist die Leistungsverteilung wesentlich günstiger, was auch zu einer identischen Bauweise der Module führt.

Die Abb. 3 und 4 zeigen den Vergleich verschiedener Modulspannungsverteilungen mit unterschiedlichen Ansteuerungsverfahren. Bei einer Nichtberücksichtigung der Spannungsabweichung der Module von 4:5:6 ergibt sich ein schlechteres Ergebnis der THD (total harmonic distortion) als bei einer 1:1:1 Spannungsverteilung. Offensichtlich ist es vorteilhaft, die Spannungsverteilung der Module zur Reduktion der Oberschwingungen zu nutzen.

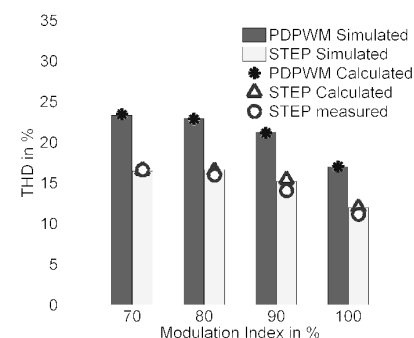


Abb. 3: THD der Spannungen in Abhängigkeit des Aussteuergrades gemessen, simuliert und berechnet bei einer 1:1:1 Konfiguration

Fig. 3: THD of voltages dependent on the phase control factor, simulated, calculated and measured for a 1:1:1 configuration

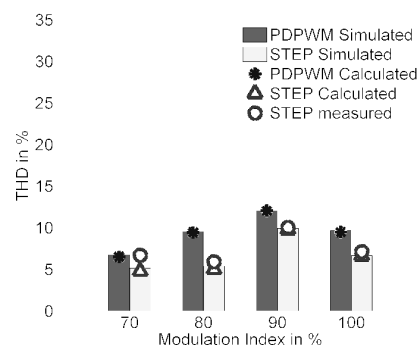


Abb. 4: THD der Spannungen in Abhängigkeit des Aussteuergrades gemessen, simuliert und berechnet bei einer 4:5:6 Konfiguration

Fig. 4: THD of voltages dependent on the phase control factor measured, simulated and calculated for a 4:5:6 configuration

Spannungsgespeiste DC-DC Wandler für Brennstoffzellensysteme

von Dipl.-Ing. Andreas Averberg

Die von Brennstoffzellen abgegebenen Ausgangsgrößen Strom und Spannung variieren mit der Belastung der Zellen. Bei steigender Leistung sinkt die Ausgangsspannung. Weiterhin liegt die Ausgangsspannung in einem relativ niedrigen Bereich. Typische Werte für Brennstoffzellenstapel im Leistungsbereich 1 kW bis 5 kW liegen bei ca. 30 V bis 70 V. Um die von den Brennstoffzellen generierte Leistung für Anwendungen mit höheren Spannungsanforderungen nutzbar zu machen, ist ein DC-DC Wandler mit hoher Spannungsübersetzung erforderlich.

Am IAL laufen derzeit zwei Projekte in diesem Bereich. Im Rahmen der Landesinitiative Brennstoffzelle Niedersachsen sind wir an einem Projekt beteiligt, in dem eine SOFC Brennstoffzelle als Brennstoffzellenheizgerät für stationäre Anwendungen marktfähig gemacht werden soll. Die dabei anfallende elektrische Leistung von 5 kW wird dreiphasig ins Netz gespeist. Von Seiten des IAL wird die Entwicklung und der Aufbau des DC-DC Wandlers inklusive Regelstrategie für einen 750 V Zwischenkreis geliefert. Weiterhin ist das IAL für die Anbindung des Energiespeichers verantwortlich.

Eigenfinanziert liefen in den letzten zwei Jahren intensive Untersuchungen von einstufigen strom- und spannungsgespeisten DC-DC Wandlern, welche aus dem institutseigenen Brennstoffzellensystem von 30 V im Nennbetrieb in einen 600 V Zwischenkreis speisen.

Abb. 1 zeigt den spannungsgespeisten Vollbrückenwandler. Anhand von analytischen Untersuchungen des Wandlers wurde gezeigt, welche Auswirkungen die einzelnen Topologieparameter Ausgangsinduktivität, Streuinduktivität des Hochfrequenztransformators und dessen Windungszahlenverhältnis auf das Betriebsverhalten haben. Abb. 2 zeigt bei einer konstanten Eingangsspannung von $U_d = 28$ V den Verlauf der Ausgangsspannung über Windungszahlenverhältnis und Ausgangsinduktivität. Der Ausgangsstrom ist auf einen konstanten Wert von $i_{out} = 1,5$ A eingestellt. Erwartungsgemäß steigt die Ausgangsspannung mit steigendem

Voltage-fed DC/DC Converters for Fuel Cell Systems

by Dipl.-Ing. Andreas Averberg

Output voltage and output current supplied by fuel cells vary depending on the load. With increasing power, the output voltage is reduced. Further on, it is in a relatively low range. Typical values for fuel cell stacks in the power range of 1 kW to 5 kW reach from approx. 30 V to 70 V. In order to use the power supplied by fuel cells for higher voltage applications, DC/DC converters with high voltage gain are required.

At present, the IAL is working on two projects dealing with this subject. Within the scope of the Landesinitiative Brennstoffzelle Niedersachsen (State's Initiative Fuel Cell Lower Saxony), the IAL participates in a project where a SOFC fuel cell shall be made competitive as a heating device for use in stationary applications. The generated electrical power of 5 kW is fed into the combined heating/power three phase grid. The IAL is developing and designing the DC/DC converter incl. control strategy for a 750 V DC link. In addition, the IAL is responsible for the connection of the energy store.

During the last two years, profound self-financed investigations have been made on the basis of single-stage current- and voltage-fed DC/DC converters, where a 600 V DC link with 30 V at nominal operation is fed by the IAL fuel cell system.

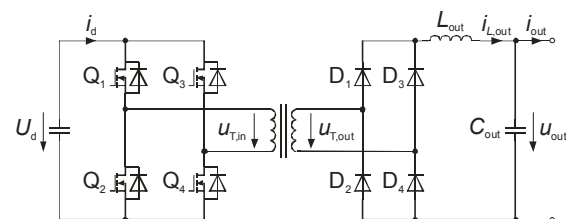


Abb. 1: Spannungsgespeicher Vollbrückenwandler

Fig. 1: Voltage-fed full bridge converter

Fig. 1 shows a voltage-fed full bridge converter. Based on analytical calculations of the converter, it has been proved how the design parameters output inductance, leakage inductance of the high-frequency transformer and

its winding ratio affect the performance. Fig. 2 shows for a constant input voltage of $U_d = 28$ V the characteristic of the output voltage as a function of the output inductance and the winding ratio. The output current is set to the constant value $i_{out} = 1.5$ A. As expected, the output voltage increases with an increasing winding ratio. At $W_2/W_1 \approx 60$, however, a maximum is reached, and a further increase of the secondary number of turns leads to a decreasing output voltage.

The converter efficiency can be seen in fig. 3, showing again the extreme dependence on the winding ratio. The best efficiency is obtained at the smallest possible W_2/W_1 .

The analytical results presented here have been verified by means of laboratory tests. For a 1.2 kW converter, an efficiency of 92.6 % at a voltage gain of 20 has been achieved. Further results have been presented on international conferences.

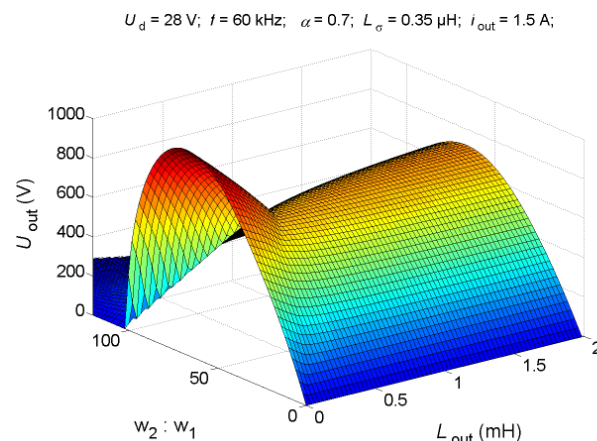


Abb. 2: Ausgangsspannung über Ausgangsinduktivität und Windungszahlenverhältnis

Fig. 2: Output voltage as a function of the output inductance and winding ratio

Windungszahlenverhältnis an. Bei $W_2/W_1 \approx 60$ wird jedoch ein Maximum erreicht und eine weitere Erhöhung der sekundären Windungszahl führt wieder zu einer Abnahme der Ausgangsspannung.

Der Wirkungsgrad des Wandlers ist in Abb. 3 dargestellt. Wiederum erkennt man eine starke Abhängigkeit vom Windungszahlenverhältnis. Die besten Wirkungsgrade werden bei kleinstmöglichem W_2/W_1 erreicht.

Die hier dargestellten analytischen Ergebnisse wurden anhand von Labormustern verifiziert. Für den 1,2 kW Wandler wurde bei einer Spannungsübersetzung von 20 ein Wirkungsgrad von 92,6 % erreicht. Weitere Ergebnisse wurden auf internationalen Fachtagungen veröffentlicht.

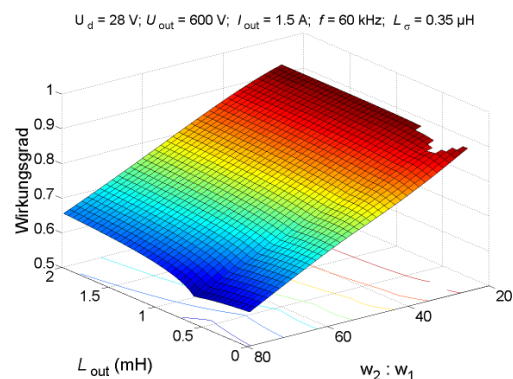


Abb. 3: Wirkungsgrad über Ausgangsinduktivität und Windungszahlenverhältnis

Fig. 3: Efficiency as a function of the output inductance and winding ratio

Lehrveranstaltungen

Die Lehrveranstaltungen des IAL wurden vor allem im Bereich der Leistungselektronik durch zwei neue Vorlesungen ergänzt. Die Lehrveranstaltung *Regelung elektrischer Drehfeldmaschinen* (erstmalig im WS 05/06) widmet sich der Regelung von Gleichstromantrieben und vor allem der feldorientierten Regelung von Asynchron- und Synchronmotoren. Die Übung findet in Form von Simulationen mit Matlab-Simulink statt, die die Studenten selbst am Rechner durchführen. Dies vertieft das Verständnis immens und findet guten Anklang bei den Studierenden. Die Veranstaltung *Leistungshalbleiter und Ansteuerungen*, erstmalig im SS 07 durchgeführt, geht auf Aufbau, Funktionsweise und Einsatz der modernen Leistungshalbleiter-Bauelemente ein und vertieft dies im Übungsteil u.a. durch eigene seminarartige Beiträge der Studenten sowie durch einige praktische Versuche. Beide Veranstaltungen sind als Wahlfächer angelegt.

Im Fachgebiet Elektrische Maschinen und Antriebssysteme wurde das 2004 eingeführte neue Vorlesungsprogramm weitgehend beibehalten. Die Lehrveranstaltung *Elektronisch betriebene Kleinmaschinen* wurde noch um eine Übung ergänzt, in der die Studierenden u. a. Berechnungswerkzeuge zur numerischen Feldberechnung (FEMAG) oder zur Simulation transienter Vorgänge (Matlab-Simulink) kennen lernen und diese selbst auf einfache Aufgabenstellungen anwenden sollen. Prof. Huth und Dr. Bakran bereichern das Vorlesungsprogramm weiterhin mit ihren Veranstaltungen über *Dynamische Regelantriebe* und über *Elektrische Bahnen*, und Prof. Ponick hält seine Vorlesung *Elektrische Klein- und Servoantriebe* nach wie vor zusätzlich im Rahmen eines Lehrauftrags an der TU Braunschweig.

Die Laboratorien blieben in den vergangenen zwei Jahren abgesehen von der Modernisierung einzelner Versuche weitgehend unverändert.

Lectures

The IAL lectures were added in the field of power electronics by introducing two new lectures. The lecture *Control of Electrical Three-phase Machines* (introduced in winter term 05/06) deals with the control of DC drives and above all with the field-oriented control of induction and synchronous machines. In the exercise, the students are introduced into the application of the tools Matlab and Simulink, carrying out computer-assisted simulations by themselves. This increases their knowledge achieved in the lecture by own experiences, which is very much appreciated by the students. The lecture *Power Semiconductors and Gate Drives* (introduced in summer term 07) examines the structural design, the functioning and the application of modern power semiconductors. In the exercise, the students have the opportunity to work out specific topics on their own and to take part in accompanying practical experiments. Both lectures are optional.

As far as the chair of Electrical Machines and Drive Systems is concerned, the lecture program rearranged in 2004 practically remained the same. The lecture *Small Electronically Controlled Motors* was added by an exercise, where the students are introduced among others into FEM analysis (FEMAG) and dynamic simulations (Matlab Simulink), applying their knowledge with simple experiments. Prof. Huth and Dr. Bakran still offer their lectures *Dynamic Servo Drives* and *Electrical Traction*, Prof. Ponick continues to hold his lecture *Small Electrical Motors and Servo Drives* as a guest lecturer at TU Braunschweig.

The labs have been retained unchanged within the last two years, except for some modifications made for single experiments.

Vorlesungsbezeichnung	Dozent	SS	WS	SWS
Grundlagen der elektromagnetischen Energie- wandlung	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick		X	V2, Ü1
Berechnung elektrischer Maschinen	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick		X	V2, Ü1
Elektrische Klein- und Servoantriebe	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick		X	V2, Ü1
Elektronisch betriebene Kleinmaschinen	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick	X		V2, Ü1
Elektrische Antriebssysteme	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick	X		V2, Ü1
Elektrische Antriebstechnik I	Prof. Dr.-Ing. A. Mertens		X	V2, Ü1
Leistungselektronik I	Prof. Dr.-Ing. A. Mertens		X	V2, Ü1
Regelung elektrischer Drehfeldmaschinen	Prof. Dr.-Ing. A. Mertens		X	V2, Ü1
Elektrische Antriebstechnik II	Prof. Dr.-Ing. A. Mertens	X		V2, Ü1
Leistungselektronik II	Prof. Dr.-Ing. A. Mertens	X		V2, Ü1
Leistungshalbleiter und Ansteuerungen	Prof. Dr.-Ing. A. Mertens	X		V2, Ü1
Dynamische Regelantriebe	Prof. Dr.-Ing. G. Huth	X		V2
Elektrische Bahnen	Dr.-Ing. M. Bakran	X		V2
Kolloquium Elektrische Antriebssysteme	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick Wiss. Mitarbeiter	X		
Kolloquium Berechnung elektrischer Maschi- nen	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick Wiss. Mitarbeiter		X	
Kolloquium Elektrische Klein- und Servoantrie- be	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick Wiss. Mitarbeiter		X	
Labor für Leistungselektronik	Prof. Dr.-Ing. A. Mertens Wiss. Mitarbeiter	X	X	
Labor für Elektrische Maschinen	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick Wiss. Mitarbeiter	X	X	
Labor für Elektrische Antriebssysteme	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick Prof. Dr.-Ing. A. Mertens Wiss. Mitarbeiter	X	X	

Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung

(3. Semester), V2, U1

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

Hörsaalübungen: Dipl.-Ing. C. Stübiger

Inhalt

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

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

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

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

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

Basics of Electromagnetic Power Conversion

(3rd term), V2, U1

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

Exercise: Dipl.-Ing. C. Stübiger

Contents

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

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

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

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

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

Theory of Electrical Machines

(5th term), V2, U1

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

Exercise: Dipl.-Ing. S. Tegeler

Contents

Introduction into the rotating field theory, harmonic leakage, skewing.

Electromagnetic design of polyphase machines.

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

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

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

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

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

Types of losses; additional losses caused by spatial harmonics.

Berechnung elektrischer Maschinen

(5. Semester), V2, U1

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

Hörsaalübung: Dipl.-Ing. S. Tegeler

Inhalt

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

Elektromagnetischer Entwurf.

Theorie der Wicklungen: Entwurfsgesetze und Berechnung der Wicklungsfaktoren für Ganzloch- und Bruchlochwicklungen, strangverschachtelte Wicklungen, polumschaltbare Wicklungen, 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).

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

Verlustarten; zusätzliche Verluste durch Oberwellen.

Elektrische Klein- und Servoantriebe

(5. bzw. 7. Semester), V2, U1

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

Übung: Dipl.-Ing. K.-H. Dempewolf

Inhalt

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

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

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

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

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

Elektronisch betriebene Kleinmaschinen

(6. bzw. 8. Semester), V2, U1

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

Übung: Dipl.-Ing. J.-P. Jastrzembki

Inhalt

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

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

Elektronikmotoren: Magnetwerkstoffe; Ausführungen

Small Electrical Motors and Servo Drives

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

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

Exercise: Dipl.-Ing. K.-H. Dempewolf

Contents

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

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

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

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

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

Small Electronically Controlled Motors

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

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

Exercise: Dipl.-Ing. J.-P. Jastrzembki

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)

rungen mit verschiedenen Strangzahlen, Walzen- und Scheibenläufer, Motoren mit genutetem Ständer oder Luftspaltwicklungen, Hybridmotoren, Switched-Reluctance-Motoren; Betriebsverhalten.

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

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

Schutzarten und Normen

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

Electrical Drive Systems

(6th term), V2, U1

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

Exercise: Dipl.-Ing. D. Braunisch

Contents

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

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

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

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

Theory of oscillations of synchronous machines during steady-state operation, stability criteria

Elektrische Antriebssysteme

(6. Semester), V2, U1

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

Hörsaalübung: Dipl.-Ing. D. Braunisch

Inhalt

Betriebsarten. Berechnungsverfahren zur Bestimmung des äquivalenten Dauerbetriebs.

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

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

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

Theorie der stationären Pendelungen von Synchronmaschinen. Stabilitätskriterien und

Intrittfallen von Synchronmotoren.

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

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

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

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

Elektrische Antriebstechnik I

(Früher: Elektrische Steuer- und Antriebstechnik I)

für Mechatroniker (3. Semester) und Maschinenbauingenieure (5. Semester), V2, U1

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

Übung: Dipl.-Ing. N. Rüger

Inhalt

Grundlegende Kenntnisse der elektrischen Antriebstechnik, der wesentlichen Normen und Vorschriften sowie der physikalischen Gesetze

and pulling in of synchronous motors.

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

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

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

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

Electric Drives I

(formerly: Electric Control and Drives I) for mechatronics students (3rd term) and mechanical engineering students (5th term), V2, U1

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

Exercise: Dipl.-Ing. N. Rüger

Contents

Basic knowledge of electric drive technology, most important standards and regulations as well as physical laws of electromagnetic power conversion. Principles of operation and control

of commutator motors and electronically commutated motors.

Basics of electric drives: equations of motion; operating modes, designs and sizes; safety classes of electrical machines.

DC motors: design, modes of operation, performance, control methods (electric, electronic).

Small machines: permanent-magnet DC motors, brushless DC motors, universal motors, servo drives.

Recommended previous knowledge: Basics of Electrical Engineering.

Electric Drives II

(formerly: Electric Control and Drives II)
for mechatronics students (4th term) and
mechanical engineering students (6th
term), V2, U1

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

Exercise: Dipl.-Ing. K. Wiedmann

Contents

Transformers: basics, AC transformer, three-phase transformer (design, star, delta and zigzag connection, parallel connection of transformers), autotransformers and small transformers

Three-phase machines: basic principle of operation.

Synchronous machines: basics, design, performance, salient-pole machine, start-up, braking, speed control, step motors, generators (bike, motor vehicle).

Asynchronous machines: design, mode of operation, performance, start-up, braking, speed control, asynchronous AC motors (capacitor motor, split-pole motor).

Recommended previous knowledge: Basics of Electrical Engineering (incl. AC and three-phase systems), Electric Drives I

der elektromagnetischen Energiewandlung. Aufbau, Wirkungsweise und Steuerung von Kommutatormotoren und elektronisch kommutierten Motoren.

Allgemeine Grundlagen der Antriebstechnik: Bewegungsgleichungen; Betriebsarten, Bauformen und -größen; Schutzarten elektrischer Maschinen.

Gleichstrommotoren (GM): Aufbau, Schaltungsarten, Betriebsverhalten, Steuerverfahren (elektrisch, elektronisch).

Kleinmotoren: Permanentmagneterregte GM, bürstenlose GM, Universalmotor; Stellantriebe.

Empfohlene Vorkenntnisse: Grundlagen der Elektrotechnik

Elektrische Antriebs- technik II

(Früher: Elektrische Steuer- und Antriebstechnik II)

für Mechatroniker (4. Semester) und
Maschinenbauingenieure (6. Semester), V2, U1

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

Übung: Dipl.-Ing. K. Wiedmann

Inhalt

Transformator: Grundlagen, Wechselstrom-Transformator, Drehstrom-Transformator (Aufbau, Stern-, Dreieck-, Zick-Zack-Schaltung, Parallelschalten von Transformatoren), Spar- und Kleintransformatoren.

Drehfeldmaschinen: Allgemeine Grundlagen.

Synchronmaschinen: Grundlagen, Aufbau, Betriebsverhalten, Schenkelpolmaschine, Anlauf, Bremsen, Drehzahlstellen, Schrittmotoren, Lichtmaschinen (Fahrrad, Kfz).

Asynchronmotoren: (Aufbau, Wirkungsweise, Betriebsverhalten, Anlassen, Bremsen, Drehzahlstellen, Wechselstrom-Asynchronmotoren (Kondensator-, Spaltpolmotor).

Empfohlene Vorkenntnisse: Grundlagen der Elektrotechnik (inkl. Wechsel- und Drehstrom-

systeme), Elektrische Antriebstechnik I

Leistungselektronik I

(5. Semester), V2, U1

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

Übung: M.Sc. V. Ganesan

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, Netzurückwirkungen.

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

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

Empfohlene Vorkenntnisse: Grundlagen der Elektrotechnik

Leistungselektronik II

(6. Semester), V2, U1

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

Übung: Dipl.-Ing. A. Averbeg

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.

Power Electronics I

(5th term), V2, U1

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

Exercise: M.Sc. V. Ganesan

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 term), V2, U1

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

Exercise: Dipl.-Ing. A. Averbeg

Contents

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

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

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

Isolated DC to DC converters: transformers, forward converter, flyback converter, bridge converter.

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

Power Semiconductors and Gate Drives

(6th term), V2, U1

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

Exercise: Dipl.-Ing. H. Kuhn

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-n-junction
- 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
- Bipolar transistor
- Thyristor
- GTO and IGBT
- Field-effect transistor
- Structure of modern MOSFETs and IGBTs
- Gate drive and switching performance of MOSFETs, IGBTs and IGCTs
- Integrated gate drive circuits
- Semiconductor components made of SiC

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

Empfohlene Vorkenntnisse: Grundlagen der Elektrotechnik, Leistungselektronik I

Leistungshalbleiter und Ansteuerungen

(6. Semester), V2, U1

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

Übung: Dipl.-Ing. H. Kuhn

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

- Bauelemente aus SiC

Die Studierenden sollen selbstständig Beiträge zu Einzelthemen erarbeiten und in der Übung vortragen. Die Übung wird. z.T. von praktischen Experimenten begleitet.

Regelung elektrischer Drehfeldmaschinen

(7. bzw. 9. Semester), V2, U1

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

Übung: Dipl.-Ing. T. Laczynski

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
- Stromregelkreis eines Choppers
- Drehmoment- und Drehzahlregelung der Gleichstrommaschine
- Lageregelung
- Regelungstechnisches Modell der Drehfeldmaschinen
- Stromregelkreis für Pulswechselrichter in rotierenden Koordinaten
- Prinzip der Feldorientierung
- Feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine
- Reduzierte Modelle der Asynchronmaschine
- Regelverfahren ohne Drehzahlgeber
- Feldorientierte Regelung der Synchronmaschine

Die Vorlesung ist methodenorientiert und legt ihren Schwerpunkt auf die feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine, betrachtet aber

The students shall work out specific topics on their own and present them during the exercise. The exercise is partly accompanied by practical experiments.

Control of Electrical Three-phase Machines

(7th or 9th term), V2, U1

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

Exercise: Dipl.-Ing. T. Laczynski

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 focusses on drives with asynchronous machines. Drives with synchronous machines will also be considered.

Contents:

- Dynamic behaviour of uncontrolled DC machines
- Current control loop of a chopper
- Torque and speed control of DC machines
- Positioning control
- Dynamic model of three-phase machines
- Current control loop for voltage source inverters in a rotating coordinate system
- 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

This lecture is method-oriented and focusses on the field-oriented control of asynchronous machines, but deals also with other types of machines. The lecture "Dynamic Servo Drives" (lectureship IAL-AS) is application-

oriented and offers an overview on all components and the complete system of a servo drive.

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

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

Recommended previous knowledge: Power Electronics I and Electrical Drive Systems

Dynamic Servo Drives

(6th or 8th term), V2

Lecture: Prof. Dr.-Ing. G. Huth

Contents

Structure of servo drives, drive components: working process (e.g. tooling machines), motor, sensor, converter, control system.

Classification of dynamic servo drives, requirements for main drives and servo drives.

DC main drives, DC main spindle motors, line-commutated converters, steady-state performance characteristics, control for field weakening, multi-quadrant operation, drive modelling.

AC main drives, AC main spindle motors, vector control of three-phase induction motors, voltage-source converters, pulse inverters and pulse-width modulation, voltage-source converters with and without energy recovery, drive modelling, steady-state performance characteristics.

Development of position-controlled servo drives, configuring of servo drives.

DC servo drives, DC servo motors, 4-quadrant

auch andere Maschinentypen. Die Vorlesung "Dynamische Regelantriebe" (Lehrauftrag IAL-AS) ist dagegen anwendungsorientiert und bietet einen Überblick über alle Komponenten und das Gesamtsystem des Servo-Antriebs.

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

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

Empfohlene Vorkenntnisse: Leistungselektronik I und Elektrische Antriebssysteme

Dynamische Regelantriebe

(6. bzw. 8. Semester), V2

Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. G. Huth

Inhalt

Antriebsstruktur von Regelantrieben, Betrachtung der Antriebskomponenten: Arbeitsprozess (z. B. Werkzeugmaschinen) Motor, Geber, Stromrichter, Leitsystem.

Abgrenzung der dynamischen Regelantriebe, Anforderungen an dynamische Haupt- und Servoantriebe.

DC-Hauptantriebe, DC-Hauptspindelmotoren, netzgeführter Stromrichter, stationäre Betriebskennlinien, Feldschwächregelung, Mehrquadrantenbetrieb, Antriebsmodellierung.

AC-Hauptantriebe, AC-Hauptspindelmotoren, feldorientierte Regelung von Drehstrom-Asynchronmotoren, Spannungszwischenkreis-Umrichter, Pulswechselrichter und Pulsbreitenmodulation, Zwischenkreis-Spannungsquellen ohne und mit Netzzurückspeisung, Antriebsmodellierung, stationäre Betriebskennlinien.

Entwicklung der lagegeregelten Servoantriebe, Projektierung von Servoantrieben.

DC-Servoantriebe, DC-Servomotoren, 4-Q DC-Steller, stationäre Betriebskennlinien, Antriebsmodellierung.

AC-Servoantriebe, permanentmagneterregte AC-Servomotoren in Blockstrom- und Sinusstromtechnik, AC-Tachosystem, Resolverensorik, stationäre Betriebskennlinien, feldorientierter Betrieb, Antriebsmodellierung, Dimensionierung der Permanentmagneterregung, optimale Kurzschlussbremsung.

Drehzahl geregelter Hauptantrieb, lagegeregelter Servoantrieb. Übertragungsverhalten des linearen Lageregelkreises.

DC controller, steady-state performance characteristics, drive modelling.

AC servo drives, AC servo motors with permanent magnet excitation in block-type current and sinusoidal current technology, AC tachometer system, resolver sensor technology, steady-state performance characteristics, field-oriented operation, drive modelling, dimensioning of permanent magnet excitation, optimum short-circuit braking.

Speed-controlled main drive, position-controlled servo drive. Response characteristic of the linear position servo loop.

Elektrische Bahnen

(6. und 8. Semester), V2

Vorlesung: Dr. M. Bakran

Inhalt

In der Vorlesung werden die Grundlagen elektrischer Bahnen 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. Als Grundlage werden Vorwissen auf den Gebieten Leistungselektronik und elektrische Antriebstechnik vorausgesetzt.

Electrical Traction

(6th and 8th term), V2

Lecture: Dr. M. Bakran

Contents

The lecture deals with the basics of electrical traction. 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. Basic knowledge in the field of power electronics and electric drive technology is required.

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

Das Kolloquium hat das Ziel, die Studenten in den zugehörigen Fächern in der letzten Phase der Prüfungsvorbereitung zu unterstützen. Hierbei wird im Unterschied zu den Übungen auf die Selbständigkeit der Bearbeitung von Fragestel-

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

This colloquium aims at supporting the students in the respective subjects during their last phase of preparation before an exam. Compared to the exercises, strong emphasis

is placed in the colloquium on solving problems without any assistance. In general, problems dealt with in former exams or those proposed by the students themselves are solved and discussed in groups. The approach how to solve a problem is presented by the assistants in charge of the colloquium and supported by answering all emerging questions. Depending on the group composition and the students' level of knowledge, several different themes treated in the respective lectures are discussed in detail.

Laboratory Exercise on “Power Electronics”

by Dipl.-Ing. A. Averbeg

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.

lungen besonderer Wert gelegt. In der Regel werden die Lösungen von alten, im Idealfall von den Studenten vorgeschlagenen Übungs- oder Klausuraufgaben in Gruppenarbeit erarbeitet und diskutiert. Die betreuenden Assistenten moderieren den Lösungsweg und unterstützen die Lösung durch Beantwortung von Fragen. Je nach Zusammensetzung und Wissensstand der studentischen Gruppe werden mehrere unterschiedliche Themen aus der gesamten Inhaltspalette der zugeordneten Vorlesungen intensiv behandelt.

Labor „Leistungselektronik“

von Dipl.-Ing. A. Averbeg

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.

Labor „Elektrische Maschinen“

von Dipl.-Ing. T. Getschmann

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

Im Labor „Elektrische Maschinen“ 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“

von Dipl.-Ing. T. Getschmann

- Gleichstrom-Reihenschlussmotor am Gleichstrom-Pulswandler (Chopper)
- Elektronisch kommutierte Gleichstrommaschine
- Permanentmagneternerger Servoantrieb
- Drehstrom-Induktionsmotor mit Käfigläufer am Pulsrichter
- Steuer- und Regelverfahren von Pulsrichter mit Käfigläufer-Induktionsmotor

Laboratory Exercise on „Electrical Machines“

by Dipl.-Ing. T. Getschmann

- 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

The goal of the lab on „Electrical Machines“ 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.

Laboratory Exercise on „Electrical Drive Systems“

by Dipl.-Ing. T. Getschmann

- series wound DC motor fed by DC pulse-controlled converter (chopper)
- electronically commutated DC machine
- 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
- stepping motor
- digital cyclo converter

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.

- Drehzahlvariabler Drehstrom-Asynchrongenerator mit Schleifringläufer
- Schrittmotor
- Digitaler Umkehrstromrichter

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.

Studien-, Diplom- und Masterarbeiten 2006/2007

Students' Theses 2006/2007

Studienarbeiten

Short Theses

2006

Dirk Braunisch:

Analyse und Verifikation von Rüttelkräften permanentmagneteregter Motoren

Analysis and verification of oscillating forces in machines with permanent magnet excitation

Christian Dürkop:

Analyse der Erwärmung einer umrichter- gespeisten zweipoligen Induktionsmaschine

Analysis of the temperature rise of a converter-fed two-pole induction machine

Jakub Emmrich:

Sättigungsverhalten von EC-Motoren mit Zahnspulenwicklungen

Saturation behaviour of EC motors with tooth-wound coils

Michael Kriese:

Numerische Berechnung des Betriebsverhaltens von Gleichstrommaschinen

Numerical calculation of the performance of DC machines

Oktay Mutlu:

Berechnung des Magnetfeldes eines permanent-erregten Linearmotors

Calculation of the magnetic field of a linear motor with permanent magnet excitation

Serge Stephan:

Dynamische Netzwerkberechnung eines Linear-motors

Dynamic network calculation of a linear motor

Stephan Umlauf:

Programmierung einer graphischen Benutzeroberfläche zur Visualisierung komplexer Eingabedaten für Berechnungsprogramme der Antriebstechnologie

Programming of a graphic user interface for visualising complex input data for drive technology calculation programs

2007

Simon Diestel:

Untersuchung des Einflusses von Ausgangsfilter und HF-Transformator auf die Betriebsweise der spannungsgespeisten Vollbrücke

Investigation of the effect of output filter and HF transformer on the operating mode of a voltage-fed full bridge

Eike Garbe:

Entwurf eines optimalen zeitdiskreten Zustandsreglers für eine Asynchronmaschine mit Sinusfilter

Design of an optimal discrete-time state space controller for an induction machine with sine-wave filter

Christian Glatz:

Optimierung und Aufbau eines 6-strängigen Gleichstromstellers zum Betrieb von Mikrolinear-motoren

Design and optimisation of a 6-phase buck and boost DC/DC converter for operation of linear micro actuators

Karl-Robert Meyer:

Vergleich strom- und spannungsgespeister Gleichspannungswandler mit hoher Spannungsverstärkung

Comparison of current- and voltage-fed DC/DC converters with high voltage gain

Constantin Reese:

Vergleich verschiedener Messverfahren zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften von Elektroblechen

Comparison of different measuring methods to determine the characteristics of magnetic steel sheets

Timur Werner:

Bestimmung von dynamischen Modulationsfehlern bei off-line optimierten Pulsmustern

Determination of dynamic modulation errors in offline optimised pulse patterns

Diplomarbeiten**Diploma Theses****2006****Hakan Bal:**

Regelung und Optimierung eines DC/DC-Wandlers zur Stabilisierung der Ausgangsspannung eines Brennstoffzellensystems

Control and optimisation of a DC/DC converter for stabilising the output voltage in a fuel cell system

Hans-Georg Beinke:

Umsetzung einer Prozessüberwachung durch Implementierung multisensorischer Auswertungsalgorithmen unter Nutzung von Sensorfusions- und Frequenzanalyseansätzen

Realisation of a process control by implementation of multisensoric evaluation algorithms using sensor fusion and frequency analysis approaches

Thorsten Getschmann:

Implementierung einer Stromregelung für einen schnell schaltenden Gleichstromsteller

Implementation of a current control for a high-speed buck and boost DC/DC converter

Michael Gröninger:

Untersuchung von Parasitäreffekten bei Mikrolinearmotoren aufgrund zeitveränderlicher Speiseströme

Investigation of parasitic effects in linear micro actuators caused by time-variant supply currents

Jan-Peter Jastrzembski:

Implementierung eines Sliding-Mode-Reglers unter Berücksichtigung einer CAN-Bus-Kommunikation

Implementation of a sliding mode controller under consideration of a CAN bus communication

Oliver Jopp:

Realisierung eines DC/DC-Wandlers zur Stabilisierung der Ausgangsspannung eines Brennstoffzellensystems

Realisation of a DC/DC converter for stabilising the output voltage of a fuel cell system

Werner Möller:

Entwurf eines Stromregelverfahrens für eine pulswechselrichter gespeiste Asynchronmaschine mit Sinusfilter bei niedriger Schaltfrequenz

Design of a current control method for voltage source inverter-fed induction machines with sine-wave filter at low switching frequencies

Benjamin Sahan:

Konzeption und Realisierung eines H-Brücken-Modules für Multilevel-Converter

Design and realisation of a H-bridge module for multilevel converters

Bernd Steyer:

Konzept für die Antriebssteuerung und Kinematik eines transpondergesteuerten fahrerlosen Transportsystems

Concept for the drive control and cinematics of a transponder-controlled driverless transportation system

Karsten Wiedmann:

Geberloser Betrieb von permanenterregten Synchronmotoren kleiner Leistung bis Drehzahl Null

Sensorless operation of low-power PM synchronous motors down to zero speed

2007

Dirk Braunisch:

Ermittlung der Verluste in metallischen Schutzkappen für den Wicklungskopf permanenterregter Hochleistungsspindelantriebe

Determination of losses in metallic protective caps for the winding overhang of high-performance PM spindle drives

Christian Düerkop:

Analyse des transienten Verhaltens eines HV-IGBTs zur Optimierung eines IGBT-Treibers

Analysis of the transient performance of a HV IGBT for optimising a IGBT driver

Jakub Emmrich:

Untersuchung des transienten Betriebsverhaltens permanentmagneterregter Synchronmaschinen unter Berücksichtigung von sättigungsabhängigen Induktivitäten

Investigation of the transient performance of PM synchronous machines under consideration of saturation-dependent inductances

Thies Köneke:

Treiberseitige Messgrößenerfassung an IGBTs zur Optimierung des Schaltverhaltens

Data acquisition at IGBTs realised by gate units for optimising the switching performance

Michael Kriese:

Berechnung des Luftspaltfeldes und der Feldfaktoren von Schenkelpol-Synchronmaschinen

Calculation of the air-gap field and the field factors of salient-pole synchronous machines

Sebastian Strüver:

Implementierung von Algorithmen zur Wicklungsgenerierung für Kommutatormaschinen

Implementation of algorithms for winding generation of commutator machines

Sebastian Tegeler:

Untersuchung des Oberschwingungsgehaltes der Ständer- und Läuferströme sowie –spannungen doppeltgespeister Asynchronmotoren

Investigation of the harmonic content of stator and rotor currents and voltages of doubly-fed induction machines

Stephan Umlauf:

Kopplung numerischer und analytischer Berechnungsprogramme zur Berechnung des Magnetkreises bei Induktionsmaschinen

Coupling of numerical and analytical calculation programs for calculation of the magnetic circuit in induction machines

Dongdong Wang:

Untersuchung des Teilwicklungsanlaufs von Induktionsmaschinen mit Käfigläufer

Investigation of the part-winding starting of cage induction machines

Masterarbeiten

Master Theses

2006

Yingyong Chiawchansin:

Entwicklung einer Messschaltung für die kapazitive Abstandsmessung in Mikrosystemen

Development of a measurement circuit for capacitive distance measuring in micro systems

Pipat Eumthrapot:

Erarbeitung und Realisierung von Konzepten zur Mehrkanalmesswerterfassung in leistungselektronischen Geräten

Elaboration and realisation of concepts for multi-channel data acquisition in power electronic devices

Metee Nilparak:

Implementierung eines Dreiphasen-Wechselrichters zur Energieversorgung in ein Microgrid-System

Implementation of a three-phase inverter for energy supply into a microgrid system

Kittipong Pravalpattakul:

Entwicklung eines schnell schaltenden Gleichstromstellers für einen Mikro-Linearmotor

Development of a high-speed buck and boost DC/DC converter for application in linear micro actuators

Siriluk Pumirat:

Anfertigung einer Machbarkeitsstudie zur geberlosen Positionserfassung bei Mikrolinearmotoren

A feasibility study on sensorless position detection in linear micro actuators

2007**Hong Thanh Dang:**

Regelung von Asynchronmaschinen mit off-line-optimierten Pulsmustern

Control of induction machines with off-line optimised pulse patterns

Gerd Janssen:

Entwicklung eines mechatronischen Zugkraftregelungssystems für Meterware

Development of a mechatronic traction control system for material sold by the metre

Aly Mashaly:

Inbetriebnahme eines HV-IGBT-Prüfstandes und Optimierung der Treiberschaltung an neuartigen IGBTs

Commissioning of a HV IGBT test bench and optimisation of the gate drive circuit for novel IGBTs

Ratanathammapan Sakkasam:

Untersuchung eines spannungsgespeisten Gleichspannungswandlers hinsichtlich optimaler Spannungsverstärkung

Investigation of a voltage-fed DC/DC converter for optimised voltage gain

Yujie Yan:

Vergleich von Regel- und Modulationsverfahren moderner Multilevelumrichter

Comparison of control and modulation methods of modern multilevel converters

Zhiguang Yan:

Kopplung numerischer und analytischer Programme zur Berechnung von Schenkelpolmaschinen

Coupling of numerical and analytical programs for calculation of salient-pole machines

Mitarbeiter des IAL

Auf den folgenden Seiten präsentieren sich die Mitarbeiter des IAL. Die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter ist in den vergangenen beiden Jahren noch einmal deutlich gestiegen. Dabei ist es besonders erfreulich, dass wir unsere neuen Mitarbeiter praktisch ausnahmslos aus dem eigenen Nachwuchs gewinnen konnten. Die Mehrzahl ist dem IAL bereits seit Jahren als wissenschaftliche Hilfskräfte verbunden. Die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter ist damit aber gleich an zwei natürliche Grenzen gestoßen: Zum einen ist mit ca. 11 Mitarbeitern pro Professor deren Betreuungskapazität gründlich ausgeschöpft, und zum anderen sind auch alle verfügbaren Büros voll besetzt, und es lassen sich keine weiteren Laborflächen sinnvoll in Büros verwandeln - zumal es auch in den Labors reichlich eng geworden ist.

Die neuen Mitarbeiter werden ausschließlich aus Drittmitteln in Form von Industriekooperationen und DFG-Projekten wie dem Sonderforschungsbereich 516 „Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme“ finanziert, dessen Finanzierung gerade bis ins Jahr 2010 verlängert wurde.

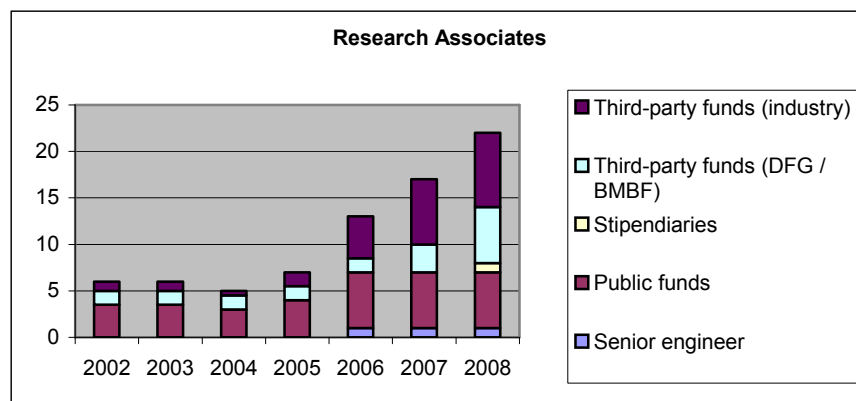
Besonders freuen wir uns, dass wir mit Herrn Dipl.-Ing. (FH) Clemens Larivière einen Nachfolger für Peter Steinhardt gewinnen konnten, der sich um unsere Messtechnik und die elektrischen Anlagen kümmert und Studenten ebenso wie Assistenten auch bei allen Hardwarearbeiten unterstützt. Obgleich er erst seit dem 01.09.2006 am IAL tätig ist, ist er schon nicht mehr aus dem Institut wegzudenken.

Staff of IAL

In the following, we would like to present you our staff members. The number of research associates has considerably increased again within the last two years. In this context, we can proudly point out that all new staff members could be recruited from our own students. Most of them have already been with us as student assistants for many years. Nevertheless, the number of research associates has now reached its upper limit in two respects: On the one hand, 11 research associates for each professor are very close to the limit in terms of giving adequate support to them. On the other hand, all offices available are already fully occupied, and no more lab premises can be changed into offices – especially because the labs are already pretty crowded, too.

Our new staff is exclusively financed by third-party funds in form of industrial cooperations and DFG projects like the Collaborative Research Centre 516 “Construction and Manufacturing of Active Micro Systems”, the financing of which has just been extended until 2010.

We are especially glad to have now Clemens Larivière (Dipl.-Ing. FH) as successor of Peter Steinhardt in our team, who is in charge of our measurement and test equipment, also giving support to our research associates as well as to the students in all hardware questions. Although he is just with us since September 2006, he has already become indispensable for our institute.



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

Phone +49(0)511-762-2514
 Fax +49(0)511-762-3040
 email info@ial.uni-hannover.de
www.ial.uni-hannover.de

Professoren ♦ Professors

Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens
 Fachgebiet Leistungselektronik und Antriebsregelung
 Power Electronics and Drive Control
 Phone 762-2471, mertens@ial.uni-hannover.de

Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick
 Fachgebiet Elektrische Maschinen und Antriebssysteme
 Electrical Machines and Drive Systems
 Phone 762-2571, ponick@ial.uni-hannover.de

Prof. i. R. Dr.-Ing. Johannes Nestler
 Fachgebiet Leistungselektronik
 Power Electronics
 Phone 762-2214, nestler@ial.uni-hannover.de

em. Prof. Dr.-Ing. H. O. Seinsch
 Fachgebiet Elektrische Maschinen
 Electrical Machines
 Phone 762-2515, seinsch@ial.uni-hannover.de

Prof. i. R. Dr.-Ing. H.-D. Stölting
 Fachgebiet Elektrische Kleinmaschinen
 Small Electrical Machines
 Phone 762-2214, stoelting@ial.uni-hannover.de

Lehrbeauftragte ♦ Ext. Lecturers

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Huth
 Dynamische Regelantriebe
 Dynamic Servo Drives

Dr.-Ing. Mark Bakran
 Elektrische Bahnen
 Electrical Traction

Oberingenieur ♦ Senior Engineer

Dr.-Ing. Jörn Steinbrink
 Phone 762-2864, steinbrink@ial.uni-hannover.de

Verwaltung ♦ Administration

Dipl.-Fachübers. Petra Duensing
 Phone 762-2514, duensing@ial.uni-hannover.de

Nina Schulz-Meden
 Phone 762-2514, schulz-meden@ial.uni-hannover.de

Techn. Angestellte ♦ Technical Staff

Dipl.-Ing. (FH) Clemens Larivière
 Phone 762-2860, lariviere@ial.uni-hannover.de

Carsten Selke
 Phone 762-2215, selke@ial.uni-hannover.de

Stipendiat ♦ Stipendiary

M. Eng. Mohamed Shams El-Deen
 Phone 762-2839, shamselde@ial.uni-hannover.de

Wiss. Mitarbeiter ♦ Scientific Staff

Leistungselektr. u. Antriebsregelung Power Electronics and Drive Control

Dipl.-Ing. Andreas Averberg
 Phone 762-3765, averberg@ial.uni-hannover.de

M.Sc. Vijay Anantham Ganesan
 Phone 762-3766, ganesan@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Thies Köneke
 Phone 762-2863, koeneke@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Harald Kuhn
 Phone 762-3752, kuhn@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Tomasz Laczynski
 Phone 762-3764, laczynski@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Niklas Rüger
 Phone 762-2858, rueger@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Timur Werner
 Phone 762-3758, werner@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Karsten Wiedmann
 Phone 762-2510, wiedmann@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Michael Wöhrmann
 Phone 762-3770, woehrmann@ial.uni-hannover.de

Elektr. Maschinen u. Antriebssysteme Electrical Machines and Drive Systems

Dipl.-Ing. Dirk Braunsch
 Phone 762-2839, braunsch@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Kay-Horst Dempewolf
 Phone 762-2407, dempewolf@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Jakub Emmrich
 Phone 762-3778, emmrich@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Thorsten Getschmann
 Phone 762-2391, getschmann@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Michael Gröninger
 Phone 762-2896, groeninger@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Rainer Helmer
 Phone 762-2862, helmer@ial.uni-hannover.de

M. Sc. Gerd Janssen
 Phone 762-3767, janssen@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Jan-Peter Jastrzembki
 Phone 762-2408, jastrzembki@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Michael Kriese
 Phone 762-5346, kriese@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Cornelia Stübig
 Phone 762-2874, stuebig@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Sebastian Tegeler
 Phone 762-2891, tegeler@ial.uni-hannover.de

Mitarbeiter des IAL

Staff of IAL



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



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



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



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



Prof. i.R. Dr.-Ing.
H.-D. Stölting
Elektrische Klein-
maschinen
Small Electrical Ma-
chines



Dr.-Ing.
Jörn Steinbrink
Oberingenieur
Senior Engineer



Dipl.-Fachübers.
Petra Duensing
Verwaltung
Administration



Betriebswirtin
N. Schulz-Meden
Verwaltung
Administration



Industriemeister
Carsten Selke
Werkstatt
Shop Technician



Dipl.-Ing. (FH)
C. Larivière
Tech. Angestellter
Lab Assistant



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



Dr.-Ing.
Mark Bakran
Gastdozent
External Lecturer



M. Eng.
M. Shams El-Deen
Stipendiat
Stipendiary



Dipl.-Ing.
Andreas Averborg
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



Dipl.-Ing.
A. Berardinelli
wiss. Mitarbeiterin
Research Associate
until 07/06



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



Dipl.-Ing.
Sven Demmig
wiss. Mitarbeiter
Research Associate
until 12/07



Dipl.-Ing.
K.-H. Dempewolf
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



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



M. Sc.
Vijay Ganesan
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



Dipl.-Ing.
Ralf Gehrking
wiss. Mitarbeiter
Research Associate
until 12/07



Dipl.-Ing.
T. Getschmann
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



Dipl.-Ing.
Michael Gröninger
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



Dipl.-Ing.
Rainer Helmer
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



M. Sc.
Gerd Janssen
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



Dipl.-Ing.
J.-P. Jastrzebski
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



Dipl.-Ing.
Thies Köneke
wiss. Mitarbeiter
Research Associate
since 01/08



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



Dipl.-Ing.
Harald Kuhn
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



Dipl.-Ing.
Tomasz Laczynski
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



Dipl.-Ing.
Stefan Pöhler
wiss. Mitarbeiter
Research Associate
until 09/07



Dipl.-Ing.
Niklas Rüger
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



Dipl.-Ing.
Cornelia Stübiger
wiss. Mitarbeiterin
Research Associate



Dipl.-Ing.
Sebastian Tegeler
wiss. Mitarbeiter
Research Associate
since 01/08



Dipl.-Ing.
Timur Werner
wiss. Mitarbeiter
Research Associate
since 03/08



Dipl.-Ing.
Karsten Wiedmann
wiss. Mitarbeiter
Research Associate



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

Chronik 2006/2007

Chronicle 2006/2007

Januar 2006

01.01.

Prof. Ponick wird Convenor der Arbeitsgruppe WG 12 des IEC/TC 2 „Rotating Machinery“.

Kay-Horst Dempewolf und Niklas Rüger beginnen als Assistenten am IAL.

13.01.

Gastvortrag von Dr. Bayerer (Fa. Infineon) zum Thema „Schaltverhalten moderner IGBTs“

19.-22.01.

Betriebsausflug zum verlängerten Skiwochenende in Marianska (Erzgebirge) (Erholungsheim der Tschechischen Akademie der Wissenschaften Prag)



31.01.

Exkursion zur Fa. Lenz (Extertal)



Februar 2006

03.02.

Thomasz Laczynski wird Vater.

06.02.

Exkursion ins Dynamowerk Berlin der Siemens AG



07.02.

Gastvortrag von Dr. Schierling (Fa. Siemens AG) zum Thema „Aktuelle Entwicklungen in der Antriebsregelung“

Aufnahme des Instituts in das Kompetenznetzwerk „ForWind“ der Universitäten Oldenburg und Hannover

15.02.

Cornelia Stübig beginnt als Assistentin am IAL.

15.02.

Dr. Mashaly der Ain Shams University of Cairo beginnt als Gastwissenschaftler seine dreimonatige Forschungstätigkeit am IAL.

22.02.

Gastvortrag von Dr. Mashaly über seine Forschungstätigkeiten

März 2006

08.03.

Prof. Ponick gibt eine ganztägige Schulung über Induktionsmaschinen vor Mitarbeitern des Nürnberger Werks der Siemens AG.

09.03.

Vortrag von Dr. Steinbrink beim Kleinmaschinenkolloquium in Ilmenau zum Thema „Analytisches Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Rastmomenten“

27.-30.03.

Prof. Seinsch hält einen Vortrag auf einem Symposium der Fa. WEG in Jaragua do Sul/Brasilien.

April 2006

06.04.

Prof. Mertens wird in das Editorial Board der Zeitschrift ETEP (ehemals etz Archiv) berufen.

28.04.

Prof. Ponick hält einen eingeladenen Übersichtsvortrag auf dem Symposium zum 100jährigen Bestehen des Dynamowerks Berlin der Siemens AG.

Mai 2006

03.05.

Vortrag von Dr. Mashaly über seine Arbeit am IAL

**04.05.**

Prof. Mertens wird in das Editorial Board der Zeitschrift Archiv für Elektrotechnik/Electrical Engineering (Springer Verlag) berufen.

10.05.

Gastvortrag von Dr. Jurisch (Fa. Vacuum-schmelze) zum Thema „Magnetwerkstoffe für Antriebstechnik“

Teilnahme des IAL am Fußballvorbereitungsturnier im Rahmen der 175-Jahr-Feier der Universität

**11.05.**

Antrittsvorlesung von Prof. Mertens

17.05.

Exkursion zur Fa. Infineon (Warstein-Belecke)

**26.05.**

Vortrag von Sven Demmig bei der Speedam 2006 in Taormina (Italien)

Juni 2006

20./21.06.

Prof. Stölting leitet das Seminar „Elektromagnetische Kleinantriebe“ im Haus der Technik in München.

22.06.

Doktorprüfung und Promotionsfeier von Jens Edler

**21.07.**

Stefan Pöhler wird Zwillingstvater.

31.07.

Letzter Arbeitstag von Anamaria Berardinelli

August 2006

01.08.

Jan-Peter Jastrzembski beginnt als Assistent am IAL.

17.08.

Doktorprüfung von Christian Lehrmann

Juli 2006

11.07.

Exkursion zur Fa. Siemens nach Nürnberg

**12.07.**

Fußballturnier beim Hochschulsportfest

19.07.

Exkursion im Rahmen der Vorlesung Elektrische Bahnen zur Fa. Siemens nach Nürnberg



September 2006

01.09.

Das Handbuch Stölting/Kallenbach „Elektrische Kleinantriebe“ erscheint grundlegend überarbeitet in 3. Auflage.

Clemens Larivière beginnt als technischer Mitarbeiter am IAL.

12.-13.09.

Prof. Ponick hält auf dem Technischen Tag der VEM-Gruppe in Wernigerode einen Vortrag.

27./28.09.

Symposium zwischen dem Institut für Thermomechanik der Tschechischen Akademie der Wissenschaften/Prag und dem IAL in Hannover mit Exkursion nach Berlin



Oktober 2006

05.10.

Instituts-Bowlingabend

11.10.

Prof. Mertens hält einen eingeladenen Vortrag auf der ETG-Fachtagung „Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen“ in Bad Nauheim.

27.10.

Prof. Mertens wird in den Vorstand des IEEE Joint IAS/PELS/IES German Chapter gewählt.

November 2006

01.11.

Thorsten Getschmann und Karsten Wiedmann beginnen als Assistenten am IAL.

02.11.

Prof. Ponick und Prof. Stölting geben ein Seminar über die Grundlagen elektrischer Antriebe im Haus der Technik in Essen.

09.11.

Vorträge von Ralf Gehrking und Stefan Pöhler bei der IECON 2006 in Paris (Frankreich)

Dezember 2006

01.12.

Hochzeit von Vijay Ganesan

11.12.

Weihnachtsfeier mit allen aktiven und ehemaligen Mitarbeitern sowie den Studenten des Instituts



Januar 2007

01.01.

Michael Gröninger beginnt als Assistent am IAL.

17.01.

Prof. Ponick wird zum Geschäftsführenden Leiter des Mechatronik-Zentrums (MZH) der Leibniz-Universität Hannover gewählt.

18.01.

Exkursion zur Fa. SMA in Niestetal/Kassel

**25.-28.01.**

Betriebsausflug zum verlängerten Skiwochenende in Marianska (Erzgebirge) (Erholungsheim der Tschechischen Akademie der Wissenschaften Prag)



Februar 2007

02.02.

Das IAL richtet den Tag der Fakultät aus.

März 2007

05.03.

Karsten Wiedmann erhält für seine Diplomarbeit den VDE-Studienpreis 2006.

12.03.

Der Fachbereich Q1 Leistungselektronik der ETG im VDE trifft sich am IAL.

13.03.-14.03.

SFB 516-Begehung durch die DFG

**26./27.03.**

Prof. Ponick hält Vorträge auf einem Symposium der Fa. WEG in Jaragua do Sul/Brasilien.

28.03.07

Lennard Baruschka erhält für hervorragende Leistungen im Studium und ein starkes Engagement neben dem Studium den Herbert-Kind-Preis der Energietechnischen Gesellschaft (ETG) im VDE.

April 2007

01.04.

Prof. Ponick wird zum Studiendekan für den Bereich Elektrotechnik und Informationstechnik gewählt.

Prof. Mertens übernimmt den Vorsitz des Fachbereichs Q1 der ETG.

02.04.

30. Geburtstag von Sven Demmig

03.04.

30. Geburtstag von Niklas Rüger

**16.04.-20.04.**

Teilnahme des IAL an der TectoYou während der Hannover-Messe.

**18.04.**

Prof. Mertens nimmt an der Podiumsdiskussion zur Energieeffizienz im Forum „Life Needs Power“ auf der Hannover-Messe teil.

19.04.

30. Geburtstag von Rainer Helmer



Mai 2007

01.05.

Michael Wöhrmann beginnt als Assistent am IAL.

02.-06.05.

Dr. Jörn Steinbrink und Ralf Gehrking halten Vorträge auf der IEEE-Konferenz IEMDC 07 in Antalya.

22.05.

Die DFG bewilligt den 4. Förderzeitraum des SFB 516.

22./23.05.

Prof. Stölting leitet das Seminar „Elektromagnetische Kleinantriebe“ im Haus der Technik in Essen.

26.05.

Prof. Giri Venkataramanan von der University of Wisconsin/Madison, USA, weilt für einen Monat im Institut und hält mehrere Vorträge.

Juni 2007

12.-13.06.

Vorträge von Ralf Gehrking und Sven Demmig auf der GMM-Kleinmaschinentagung in Augsburg und Ausstellung des IAL auf der Kleinmaschinentagung

20.06.

Exkursion im Rahmen der Bahnenvorlesung in das Nürnberger Werk der Firma Siemens.

18.06.-21.06.

Andreas Averberg und Harald Kuhn halten Vorträge auf der IEEE PESC-Konferenz 2007 in Orlando/Florida.

29.06.

Prof. Mertens hält einen Vortrag bei Infineon in Warstein/Belecke.

Juli 2007

01.07.

Prof. Ponick wird Chairman des Technischen Komitees IEC/TC 2 „Rotating Machinery“.

04.07.

Fußballturnier beim Hochschulsportfest: Die Mannschaft des IAL wird durch regenbedingten Turnierabbruch um den Sieg gebracht.

**06.07.**

Treffen „Leistungselektronik Nord“ in Hamburg mit Vorträgen von Vijay Ganesan und Niklas Rüger

August 2007

15.08.

Gerd Janssen beginnt als Assistent am IAL.

16.08.

Hochzeit von Ralf Gehrking

31.08.

Letzter Arbeitstag von Stefan Pöhler

September 2007

2.09.-5.09

Vorträge von Andreas Averberg, Kay-Horst Dempewolf, Niklas Rüger und Karsten Wiedmann auf der Konferenz EPE 2007 in Aalborg, Dänemark

4.09.-27.09

Vortrag von Sven Demmig auf dem IEEE-IAS 2007 Annual Meeting in New Orleans

27.09.

Vortrag von Karsten Wiedmann beim NanoDay des Laboratoriums für Nano- und Quantenengineering (LNQE) der Leibniz Universität Hannover

Oktober 2007

01.10.

Michael Kriese beginnt als Assistent am IAL.

Der Gastwissenschaftler Mohamed Shams El-Deen von der Universität Menoufia/Kairo, Ägypten, beginnt seine Forschungstätigkeit am IAL.

6.10.-14.10.

Teilnahme des IAL an der IdeenExpo 2007 mit einem Exponat.

22.10. – 26.10.

Tomasz Laczynski hält einen Vortrag auf der ICPE '07 International Conference on Power Electronics in Daegu, Korea.

23.10. – 24.10.

Kay-Horst Dempewolf hält einen Vortrag auf dem internationalen ETG-Kongress 2007 in Karlsruhe.

November 2007

06.11.

Veranstaltung „Leistungselektronik und Energieeffizienz“ im IAL in Kooperation mit uni transfer der LUH und der Klimaschutzagentur Hannover mit ca. 30 Gästen

08.11.

Prof. Ponick und Prof. Stölting geben ein Seminar über die Grundlagen elektrischer Antriebe im Haus der Technik in München.

15.11.

Jakub Emmrich beginnt als Assistent am IAL.

15./16.11.

Das IAL hat das IEEE Joint IAS/PELS/IES German Chapter zu Gast mit mehr als 70 Teilnehmern aus Industrie und Wissenschaft.



22.-23.11.

Vortrag von Sven Demmig auf dem DFG-Kolloquium Mikroproduktion in Karlsruhe.

26.11.

Dr. Jörn Steinbrink organisiert ein FEMAG-Anwendertreffen in Stuttgart mit 115 Teilnehmern aus Industrie und Wissenschaft.

27.11. – 30.11.

Tomasz Laczynski hält einen Vortrag auf der PEDS'07 International Conference on Power Electronics and Drive Systems in Bangkok, Thailand.

28.11.

Karsten Wiedmann erhält für seine Diplomarbeit den E.ON Future Award 2007.

Dezember 2007

01.12.

Das Buch Müller/Vogt/Ponick „Berechnung elektrischer Maschinen“ erscheint in komplett überarbeiteter Auflage.

Dirk Braunschweig beginnt als Assistent am IAL.

05.12.

Weihnachtsfeier mit allen aktiven und ehemaligen Mitarbeitern sowie den Studenten des Instituts



13.12.

Instituts-Bowlingabend



17.12.

Exkursion zur Fa. WILO nach Dortmund

20.12.

Doktorprüfung von Anamaria Berardinelli

31.12.

Letzter Arbeitstag von Sven Demmig und Ralf Gehrking

Veröffentlichungen 2006/2007

Publications 2006/2007

Buchbeiträge 2006

Books 2006

Stölting, H.D.; Kallenbach, E.:

Handbuch Elektrische Kleinantriebe
3. Aufl., Hanser Verlag, München/Wien, 2006

Aufsätze in Fachzeitschriften 2006

Journal Articles 2006

Hahn, M.; Gehrking, R.; Ponick, B.; Gatzen, H.H.

Design Improvements for a Linear Hybrid Step Micro Actuator
microsystem Technologies 2006, Springer-Verlag

Ruffert, C.; Gehrking, R.; Ponick, B.; Gatzen, H.H.

Magnetic Levitation Assisted Guide for a Linear Micro Actuator
IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 42, No. 11, 2006

Konferenzbeiträge 2006

Conference Articles 2006

Demmig, S.; Gehrking, R.; Feldmann, M.; Büttgenbach, S.; Ponick, B.

Specific Design Rules for Micro Linear Motors
Internat. Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (Speedam 2006), Taormina (Sicily), Italy, pp. S16-27 - S16-31

Ruffert, C.; Gehrking, R.; Ponick, B.; Gatzen, H.H.

Magnetic Levitation Assisted Guide for a Linear Micro Actuator
IEEE-Intermag 2006, San Diego, CA, USA, GS-06

Gatzen, H.H.; Hahn, M.; Bedenbecker, M.; Ponick, B.; Gehrking, R.; Demmig, S.

Advances in the Development of a Linear Hybrid Micro Actuator
Actuator 2006, Bremen, Germany, pp. 207-210

Mertens, A.

Innovationen und Trends der Leistungselektronik
ETG-Fachtagung Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen, Bad Nauheim, 2006
ETG-Fachbericht 105, VDE-Verlag, pp. 101-111

Gehrking, R.; Demmig, S.; Ponick, B.; Feldmann, M.; Büttgenbach, S.

A Micro Linear Motor with Integrated Passive Magnetic Guidance
IEEE Industrial Electronics Conference (IECON 2006), Paris, Frankreich

Pöhler, S.; Mertens, A.; Sommer, R.

Optimisation of Output Filters for Inverter Fed Drives
IEEE Industrial Electronics Conference (IECON 2006), Paris, Frankreich

Buchbeiträge 2007

Books 2007

Müller, G.; Ponick, B.; Vogt, K.

Berechnung elektrischer Maschinen
Lehrbuch, 664 Seiten, 6. Aufl., Wiley-VCH Weinheim, 2007

Aufsätze in Fachzeitschriften 2007**Journal Articles 2007****Brune, K.; Seinsch, H.O.**

Performance of three-phase motors after disconnecting damaged coils
 Electrical Engineering, Vol. 89, No. 4, pp. 271-283, 2007

Konferenzbeiträge 2007**Conference Articles 2007****Gehrking, R.; Demmig, S.; Mertens, A.; Ponick, B.**

Investigations on a Micro Linear Stepping Motor Supplied by a DC-DC Converter
 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC 2007), Antalya, Türkei, 2007

Averberg, A.; Mertens, A.

Analysis of a Voltage-fed Full Bridge DC-DC Converter in Fuel Cell Systems
 IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC 2007), Orlando, USA, pp. 286-292

Kuhn, H.; Rüger, N.E.; Mertens, A.

Control Strategy for Multilevel Inverter with Non-ideal DC Sources
 IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC 2007), Orlando, USA, pp. 632-638

Gehrking, R.; Demmig, S.; Feldmann, M.; Waldschi, A.; Büttgenbach, S.; Ponick, B.

Charakterisierung eines elektromagnetischen Mikrolinearmotors mit integrierter magnetischer Führung
 Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Augsburg, 2007
 GMM-Fachbericht 54, VDE-Verlag, pp. 111-116

Demmig, S.; Gehrking, R.; Wiedmann, K.; Ponick, B.; Mertens, A.

Positionsregelung eines elektromagnetischen Mikrolinearmotors
 Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Augsburg, 2007
 GMM-Fachbericht 54, VDE-Verlag, pp. 117-122

Averberg, A.; Mertens, A.

Design Considerations of a Voltage-fed Full Bridge DC-DC Converter with High Voltage Gain for Fuel Cell Applications

European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2007), Aalborg, Denmark, 2007

Rüger, N.; Kuhn, H.; Mertens, A.

Harmonic Distortion of Multicarrier PWM Strategies in Cascaded Multilevel Converters with Unequal DC Sources

European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2007), Aalborg, Denmark, 2007

Dempewolf, K.-H.; Ponick, B.;

Modelling of Permanent Magnet Synchronous Machines for Simulations of Transient Phenomena

European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2007), Aalborg, Denmark, 2007

Wiedmann, K.; Demmig, S.; Mertens, A.;

Modified Sliding Mode Controller for Positioning of Micro Linear Motors

European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2007), Aalborg, Denmark, 2007

Demmig, S.; Gehrking, R.; Wiedmann, K.; Mertens, A.; Ponick, B.

Design and Control of a Micro Linear Motor with Integrated Magnetic Guidance
 IEEE IAS Annual Meeting, 2007, pp. 518 - 522

Laczynski, T.; Mertens, A.

New Current Controller for Inverter Fed Medium Voltage Drives with LC Filter

International Conference on Power Electronics (ICPE 2007), Daegu, Korea

Dempewolf, K.-H.; Getschmann, T.; Rüger, N. E.; Ganesan, V. A.; Mertens, A.; Ponick, B.

Transiente Simulation eines Antriebssystems zur Bestimmung der frequenzabhängigen Verluste in schnelllaufenden permanentmagneterregten Synchronmaschinen

ETG Kongress, Karlsruhe, 2007

ETG-Fachbericht 107, VDE-Verlag, pp. 261-268

Veranstaltungen 2006/2007

Events 2006/2007

12./13.09.2006

Prof. Ponick hält auf dem Technischen Tag der VEM-Gruppe in Wernigerode folgenden Vortrag:

Ponick, B.

Pendelmomentanregungen im stationären Betrieb von Antriebssystemen
Technischer Tag der VEM-Gruppe, Wernigerode, 2006

27./28.09.2006

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

Ponick, B.; Seinsch, H.O.

Continued Operation of Electrical Machines after a Damage in the Stator Winding
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Hannover, 2006, pp. 1-5

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

Operation and Control of Doubly FED Machines in Wind Turbines with Regard to Flicker
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Hannover, 2006, pp. 6-11

Steinbrink, J.

Analytical Determination of the Cogging Torque in Brushless Motors Excited by Permanent Magnets
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Hannover, 2006, pp. 12-19

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

Contribution to Improvement of Fault Tolerance of Electric Drives
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Hannover, 2006, pp. 20-27

Dempewolf, K.-H.; Ponick, B.

Modelling of Permanent Magnet Synchronous Machines for Simulations of Transient Phenomena
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Hannover, 2006, pp. 28-34

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

Optimal Operation of Voltage Source Inverter under Unbalanced Voltage Supply
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Hannover, 2006, pp. 35-40

Demmig, S.; Gehrking, R.; Ponick, B.

Design and Simulation of Micro Linear Drives
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Hannover, 2006, pp. 41-47

Bartoš, S.; Jehlička, V.; Škramlík, J.

Overvoltages and EMI in a Drive with an Induction Machine and an IGCT Voltage Source Inverter
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Hannover, 2006, pp. 48-51

Mertens, A.; Ganesan, V.

Three-Phase Sigma-Delta Modulation Using Zero-Sequence Components
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Hannover, 2006, pp. 52-60

Škramlík, J.; Valouch, V.

Control Strategy of Hybrid Power Filter
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Hannover, 2006, pp. 61-65

Valouch, V.

Optimized Control of Active Power Filters in Industrial Power Systems
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Hannover, 2006, pp. 66-71

Auszeichnungen 2006/2007

Awards 2006/2007

05.03.2007

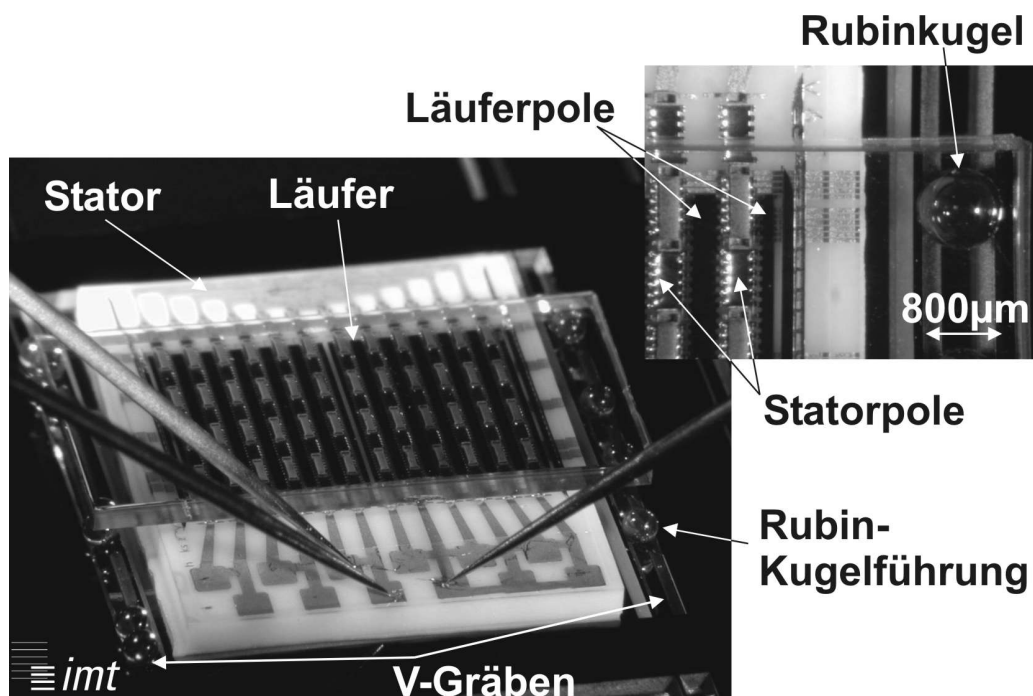
Karsten Wiedmann erhält für seine Diplomarbeit den VDE Studienpreis 2006.

28.03.2007

Lennart Baruschka erhält für hervorragende Leistungen im Studium und ein starkes Engagement neben dem Studium den Herbert-Kind-Preis der Energietechnischen Gesellschaft (ETG) im VDE.

28.11.2007

Karsten Wiedmann erhält für seine Diplomarbeit den E.ON Future Award 2007.

Dissertationen 2006/2007**Dissertations 2006/2007**

Mikrolinearmotor mit horizontaler Flussführung (entstanden in Zusammenarbeit mit IMT Braunschweig)
Linear Micro Motor with Horizontal Flux Guide (in cooperation with IMT Braunschweig)

Entwurf von Aktivteilen elektromagnetischer Mikrolinearaktuatoren nach dem Reluktanzprinzip

von Dipl.-Ing. Jens Edler

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist der Entwurf von Aktivteilstrukturen für Mikrolinearaktuatoren mit elektromagnetischem Wandlerprinzip, deren Wirkungsweise auf dem Prinzip der variablen Reluktanz beruht. Die mikrotechnisch gefertigten Strukturen weisen lateral Gesamtabmessungen von einigen Millimetern bis hin zu wenigen Zentimetern auf, Abmessungen funktionaler Strukturen liegen im Mikrometerbereich. Der Stellweg dieser Aktuatoren beträgt in der Regel einige Millimeter. Mögliche Anwendungen finden sich beispielsweise in der Medizin- und Mikrotechnik, in der chemischen Reaktor- und Analysetechnik sowie in der Informations- und Kommunikationstechnik.

Auf der Basis einer geometrischen Grundstruktur werden zwei Ausführungen abgeleitet, die als *Vertikalaktor* und als *Horizontalaktor* bezeichnet werden. Unter Zuhilfenahme der Methode der Finiten Elemente werden zwei- und dreidimensionale Feldberechnungen durchgeführt und anhand umfangreicher Parameterstudien der Einfluss verschiedener Geometrie- und Materialparameter auf die statische Kraft-Weg-Kennlinie des Antriebsteils untersucht. Messungen an Funktionsmustern des Vertikal- und des Horizontalaktors zeigen, dass die für den Entwurf zugrunde gelegten Modelle und Vorgehensweisen zur Beschreibung der Kraftwirkung von Mikroaktuatoren grundsätzlich geeignet sind.

Besonderheiten, die sich durch die Fertigung der Strukturen mit Verfahren und Prozessen der Mikrotechnik ergeben, werden dargestellt und weitestgehend in den Entwurf des Aktivteils einbezogen und erörtert.

Weitere Schwerpunkte der Arbeit sind Betrachtungen zur Wirkung von rückwirkungsbehafteten Führungssystemen auf die statische Kraft-Weg-Kennlinie sowie die Ermittlung und Berücksichtigung von Randbedingungen für den Aktivteilentwurf, die sich aus den thermischen Eigenschaften des Antriebsteils selbst und seine Anbindung an die Umwelt ergeben.

Design of Active Parts for Electromagnetic Linear Micro Actuators Based on the Reluctance Principle

by Dipl.-Ing. Jens Edler

This paper deals with the design of the active part for linear micro actuators with an electromagnetic transformer principle. Its function is based on the variable reluctance (VR) principle. The structures are produced by micro technology and show entire dimensions (lateral) onto some millimeters up to a few centimeters. Structure dimensions which are essential to the function are about some micrometers. The setting way of these actuators usually runs up to some millimeters. Potential application areas are e.g. medical and micro technology, chemical reactor and analysis technology as well as information and communication technology.

Based on a geometrical basic pattern, two designs designated as *vertical actuator* and as *horizontal actuator* are deduced. Two and three dimensional field calculations are carried out by finite elements analysis. The influence of various geometry- and material parameters onto the static force-path characteristic of the actuator is examined by means of extensive parameters studies. Measurements at experimental models of the vertical and the horizontal actuator show that the models and procedures used for the design and the description of the micro actuators are suitable as a basic principle.

Special features that are affected by the manufacturing of structures with procedures and processes of micro technology are described. Furthermore these features are included in the design process and discussed. Aspects for the design of the active part are reducing effects on the static force-path characteristic caused by non-reactionless bearing-systems. Furthermore, thermal qualities of the drive part itself and its accessibility to the environment are taken into account in the design procedure.

It is to be noticed that the results and findings presented within the framework of this paper must be seen again and again in view of the background of a rapid development of processes and procedures. This also accounts for the materials available to micro technology.

Approval Concept for Explosion-proof Converter-fed Cage Induction Motors of Type of Protection “Increased Safety”

by Dipl.-Ing. Christian Lehrmann

This thesis deals with the additional losses and temperature rises of frequency-converter-fed induction motors under the aspects of explosion protection. A focal point is the quantification of additional losses due to the converter supply as a function of the performance characteristics of the motor and frequency converter and of the interaction between these two components of the drive system. Due to the harmonics superposed on the voltage of fundamental frequency at the converter outlet, additional losses occur in both the windings of stator and rotor and in the magnetically active materials which – in the case of today's conventional voltage source converters – amount to approx. 10 % to 20 % of the motor losses at rated mains operation. The harmonic losses can be regarded as independent of the motor loading. The motor impedance is the interlinking quantity between the harmonic voltages and the losses produced in the motor. When the frequency-dependent motor impedance is known, the harmonic losses can be calculated from the harmonic content of the voltage. The load dependence of the harmonic currents which has already been observed by other authors could also be verified when a power amplifier system was used as supply source. The current rise with increasing load is associated by a shifting part of the harmonic losses from the rotor cage to the stator winding, for which metrological proof could be furnished. Moreover, general statements about the distribution of the harmonic losses in the motor could be made on the basis of analyses performed on a motor without bars in the rotor.

Measurements performed by use of an infrared camera at an induction motor mounted on a slide system allowed hot point formation on the rotor surface to be excluded.

While work is progressing, investigations into the speed-dependent thermal behaviour of selfventilated, surface-cooled induction motors were performed.

Über ein Zulassungsverfahren für explosionsgeschützte, umrichter gespeiste Käfigläufer der Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“

von Dipl.-Ing. Christian Lehrmann

In dieser Arbeit wird auf die zusätzlichen Verluste und Erwärmungen frequenzumrichter gespeister Induktionsmotoren unter den Aspekten des Explosionsschutzes eingegangen. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Quantifizierung der umrichterbedingten Zusatzverluste in Abhängigkeit der Betriebsparameter des Motors und des Frequenzumrichters bzw. auf der Schnittstellendefinition zwischen beiden Betriebsmitteln. Durch die der Grundschwingungsspannung am Umrichter Ausgang überlagerten Oberschwingungen kommt es sowohl in den Wicklungen des Stators und des Rotors als auch in den magnetisch aktiven Materialien zu zusätzlichen Verlusten, deren Höhe bei heute üblichen Spannungszwischenkreisumrichtern in der Größenordnung von ca. 10 % bis 20 % der bei Bemessungsbetrieb am Netz vorhandenen Motorverluste liegt. Die Oberschwingungsverluste können als von der Belastung des Motors unabhängig angesehen werden. Eine verbindende Größe zwischen den Spannungsoberschwingungen und den Motorverlusten ist die komplexe Impedanz des Motors. Bei Kenntnis der frequenzabhängigen Motorimpedanz lassen sich die Oberschwingungsverluste rechnerisch abschätzen. Die bereits von anderen Autoren beobachtete Lastabhängigkeit der Oberschwingungsströme konnte auch bei Verwendung eines Leistungsverstärkersystems als Speisequelle verifiziert werden. Mit dem Stromanstieg bei zunehmender Belastung geht eine Umverteilung der Oberschwingungsverluste vom Rotorkäfig auf die Statorwicklung einher, dies konnte durch Untersuchungen messtechnisch belegt werden. Über Betrachtungen an einem Motor mit stablosem Rotor konnten zudem generelle Aussagen über die Aufteilung der Oberschwingungsverluste im Motor gewonnen werden.

Durch Messungen mit einer Wärmebildkamera an einem auf einem Schlittensystem montierten Induktionsmotor konnte eine Heißpunktbildung an der Rotoroberfläche ausgeschlossen werden.

Im weiteren Fortgang der Arbeit werden Untersuchungen zum drehzahlabhängigen thermischen Verhalten eigenbelüfteter, oberflächengekühlter Induktionsmotoren durchgeführt.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wird ein neues Zulassungskonzept entwickelt, bei dem auf die Kopplung Motor – Frequenzumrichter verzichtet werden kann. Die nötige Sicherheit wird dabei durch eine Erweiterung der Software zur Umrichtersteuerung realisiert, wobei eine Kernfunktion die frequenzabhängige Ausgangsstrombegrenzung ist, mit der der drehzahlabhängigen Kühlwirkung bei eigenbelüfteten Motoren Rechnung getragen wird.

On the basis of these findings, a new approval concept could be developed, by use of which a system test of motor and frequency converter can be dispensed with. The required safety is achieved by an extension of the software for converter control, a central function being the frequency-dependent motor current limitation by which the different coolant flow at different speeds of self-ventilated motors is taken into account.

Design of a Permanent Magnet Linear Motor

by Dipl.-Ing. Anamaria Berardinelli

This thesis deals with theoretical investigations on a permanent magnet linear motor with magnetic return. The main emphasis is laid on the analysis of the magnetic field by means of network analysis, requiring less time for the calculation process. Due to the development of an automated magnetic network, it is possible to set up a position-dependent equation system. In this way, the magnetic network can be applied for parameter investigation as well as for different motor variants. Another focus is put on the determination of the magnetic field distribution in the air gap and the yoke. In addition, end effects are considered in this analysis, too.

From the magnetic fluxes obtained in all sections of the linear motor, it is possible to determine the inductions, the induced voltages and the forces acting on the linear motor. They are compared to the results received from the numerical calculations. Despite a rough discretisation of the magnetic circuit, network analysis provides qualitatively and quantitatively good statements concerning the performance.

For verifying the calculation methods, test analyses are carried out on a test motor, being then compared to the calculation results.

Über den Entwurf eines permanentmagneterregten Linearmotors

von Dipl.-Ing. Anamaria Berardinelli

Im Mittelpunkt der Arbeit stehen theoretische Untersuchungen an einem permanentmagneterregten Linearmotor mit magnetischem Rückschluss. Der Schwerpunkt liegt dabei in der analytischen Berechnung des Magnetfeldes mittels der Netzwerkmethod, die einen geringeren Zeitbedarf bei der Berechnung erfordert. Durch die Entwicklung eines automatisierten magnetischen Netzwerkes ist es möglich, das Gleichungssystem positionsabhängig aufzustellen. Dadurch kann das magnetische Netzwerk nicht nur für eine Parameterstudie, sondern auch für verschiedene Motorvarianten eingesetzt werden. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Ermittlung der Induktionsverteilung im Luftspalt und in den Jochbereichen. Zudem werden die Randeffekte in der Rechnung berücksichtigt.

Aus den gewonnenen magnetischen Flüssen in jedem Abschnitt des Linearmotors lassen sich die Induktionen, die induzierten Spannungen und die am Linearmotor wirkenden Kräfte ermitteln. Diese werden mit den Ergebnissen aus den numerischen Rechnungen verglichen. Die Netzwerkmethod liefert trotz grober Diskretisierung des magnetischen Kreises gute qualitative und quantitative Aussagen über das Betriebsverhalten.

Zur Überprüfung der Berechnungsverfahren werden anhand eines Versuchsmotors messtechnische Analysen durchgeführt und mit den Berechnungen verglichen.

Anschrift:

Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik
Leibniz Universität Hannover

Postanschrift:

Postfach 6009
30060 Hannover

Paketanschrift:

Welfengarten 1
30167 Hannover



Kontakt:

Telefon: 0511 / 762 - 2514
Fax: 0511 / 762 - 3040
E-Mail: info@uni-hannover.de
Homepage: www.ial.uni-hannover.de

