Institut für
Antriebssysteme
und Leistungselektronik

Leibniz
Universität
Hannover

Jahresbericht

Annual Report

2008 / 2009

Institut für
Antriebssysteme
und Leistungselektronik

2008 / 2009

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

Berechnung von Motorlagerströmen bei Umrichterspeisung 10
Calculation of Bearing Currents in Converter-fed Machines

Adaptive Ansteuerverfahren für IGBTs mit digitalisierten Treiberstufen 12
Adaptive Driving Concepts for IGBTs with Digital Gate Units

Gezielte Anisotropien 14
Selective Anisotropies

Einfluss von nichtlinearen Umrichtereffekten auf geberlose Regelverfahren von permanentmagneterregten Synchronmaschinen auf Basis der Hochfrequenz-Injektion 16
Converter Nonlinearity Effects on Sensorless Control for Permanent Magnet Synchronous Machine Drives Based on High-frequency Signal Injection

Wechselrichtertopologien zur Anbindung von Energiespeichern an das Mittelspannungsnetz 18
Converter Topologies for Connecting Energy Storage Systems to Medium-voltage Grids

Nutvariation bei Induktionsmaschinen 20
Slot Variations in Induction Machines

Anwendung von SB-ZePoC in einphasigen Umrichtern 22
Implementation of SB-ZePoC for Single-phase Inverters

Entwurf und Aufbau eines direkt angetriebenen Förderbandes 24
Design of a Direct-driven Conveyor

Switched-Capacitor-DC/DC-Wandler für Anwendungen kleiner Leistung 26
Switched Capacitor DC/DC Converters for Low Power Applications

Berechnung der charakteristischen Reaktanzen von Schenkelpol-Synchronmaschinen mit analytischen und numerischen Verfahren 28
Determination of Transient Reactances of Salient Pole Synchronous Machines with Analytical and Numerical Methods

Hocheffiziente Umrichter mit Siliziumkarbid-Halbleitern 30
Highly Efficient Converters with Silicon-carbide Semiconductors

Entwicklung eines Radnabenmotors für ein Elektrofahrzeug 32
In-wheel Motors Designed for Electric Vehicles

Zweistufiger, phasenversetzter DC/DC-Wandler für die Anbindung einer 5 kW el. SOFC an einen 750 V DC-Zwischenkreis 34
Two-stage Interleaved Power Conditioner for Connecting a 5 kW El. SOFC with a 750 V DC Link

Mittelspannungsumrichter als Netzstromrichter 36
Medium-voltage Converters Used as Rectifiers

Neues in und von ASYN 38
Novelties around ASYN

Neues in und von FEMAG 40
Novelties around FEMAG

Lehre am IAL ♦ Education at IAL 42

Veranstaltungstabelle 43
Schedule of Lectures

Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung 44
Basics of Electromagnetical Power Conversion

Berechnung elektrischer Maschinen 45
Theory of Electrical Machines

Elektrische Klein- und Servoantriebe 46
Small Electrical Motors and Servo Drives

Elektronisch betriebene Kleinmaschinen 46
Small Electronically Controlled Motors

Elektrische Antriebssysteme 47
Electrical Drive Systems

Elektrische Antriebstechnik I 48
Electric Drives I

Elektrische Antriebstechnik II 49
Electric Drives II

Leistungselektronik I 50
Power Electronics I

Leistungselektronik II 50
Power Electronics II

Datenverarbeitungssysteme 51
Data Processing Systems

Leistungshalbleiter und Ansteuerungen 51
Power Semiconductors and Gate Drives

Regelung elektrischer Drehfeldmaschinen 52
Control of Electrical Three-phase Machines

Schaltnetzteile 53
Switched Power Supplies

Dynamische Regelantriebe 54
Dynamic Servo Drives

Elektrische Bahnen 55
Electrical Traction

Modellierung von elektromechanischen Mikrosystemen 55
Modelling of Electromechanical Micro Systems

Kolloquium „Elektrische Antriebssysteme“, „Berechnung elektrischer Maschinen“ und „Elektrische Klein- und Servoantriebe“ 56
Colloquium on „Electrical Drive Systems“, „Theory of Electrical Machines“ and „Small Electrical Motors and Servo Drives”

Labor „Leistungselektronik“ 57
Laboratory Exercise on „Power Electronics“

Labor „Elektrische Maschinen“ 58
Laboratory Exercise on „Electrical Machines“

Labor “Elektrische Antriebssysteme” 58
Laboratory Exercise on “Electrical Drive Systems”

Studien-, Diplom- und Masterarbeiten 2008/2009 60
Students’ Theses 2008/2009

Das Institut ♦ The Institute 66

Mitarbeiter des IAL 66
IAL Staff

Chronik 2008/2009 70
Chronicle 2008/2009

Veröffentlichungen 2008/2009 76
Publications 2008/2009

Veranstaltungen 2008/2009 79
Events 2008/2009

Auszeichnungen 2008/2009 80
Awards 2008/2009

Dissertationen 2008/2009 ♦ Dissertations 2008/2009 81

Gleichspannungswandler für Brennstoffzellensysteme – Analyse, Vergleich und Bewertung unterschiedlicher Konzepte 82
DC-to DC Converters for Fuel Cell Systems – Analysis, Comparison and Evaluation of Different Approaches

Ansteuerung und Regelung von elektromagnetischen Mikromotoren 84
Open and Closed Loop Control of Electromagnetic Micro Motors

Entwurf von Aktivteilen elektromagnetischer Mikrolinearmotoren unterschiedlicher Wirkprinzipien 86
Design of Active Parts for Linear Electromagnetic Micro Motors with Different Operation Principles

Untersuchung von Netzpulsstromrichtern mit einem abschaltbaren Halbleiterventil 88
Examination of Single-switch Three-phase AC/DC Converters

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

dies ist nun bereits der dritte Jahresbericht des IAL, 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 2008 und 2009, über die sich unser Bericht erstreckt, ist die Mitarbeiterzahl des Instituts noch einmal gewachsen, wenn auch nicht mehr so stark wie in den beiden Jahren davor. Die nunmehr 27 wissenschaftlichen Mitarbeiter verteilen sich nach wie vor in etwa gleicher Stärke auf die beiden Fachgebiete. Außerdem haben wir auch Verstärkung für unsere Werkstatt und das Geschäftszimmer gewinnen können.

Die Finanzierung der neuen Mitarbeiter erfolgt weiterhin ausschließlich über Drittmittel, was zeigt, dass das IAL seine Industriekooperationen auch in den vergangenen beiden Jahren weiter ausbauen und dass wir für weitere Forschungsprojekte öffentliche Fördermittel einwerben konnten.

Bemerkenswert ist auch die Beteiligung des IAL an der *Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität*, einem öffentlich geförderten Großprojekt, in dem die Fraunhofer-Gesellschaft ein neues Elektrofahrzeug entwickelt.

Die Zahl der Studierenden, die ihre Studien- oder Abschlussarbeiten am IAL anfertigen oder unsere wissenschaftlichen Mitarbeiter als Hilfskräfte unterstützen, ist mit dauerhaft 40 bis 50 weiterhin erfreulich hoch – zumal die Studienanfängerzahlen in der Elektrotechnik mit ca. 100 nach wie vor auf sehr niedrigem Niveau stabil sind.

Das Lehrangebot des IAL wurde in den vergangenen beiden Jahren nicht durch die Ausweitung des Vorlesungsangebots, sondern vor allem qualitativ weiterentwickelt. Das erfreuliche Resultat ist, dass unsere Frau Stübig mit dem erstmals vergebenen *Preis für exzellente Lehre* der Leibniz-Universität ausgezeichnet wurde. Daneben hinterlässt die frisch gegründete Niedersächsische Technische Hochschule (NTH) sogleich Spuren in unserem Vorlesungsangebot – aber anders als erwartet: Da Wiederbesetzungen von

Preface

Dear readers,

the IAL is pleased to present its third 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 2008 and 2009, our staff has grown again, although not so much as in the years before. The IAL presently counts 27 research associates, who are working in nearly equal shares for the two chairs of the IAL. Further assistance could also be acquired for our technical and administrative staff.

Our new personnel is still exclusively financed by third party funds, proving that during the last two years, the IAL has again been able to expand its industrial cooperations and raise public funds for further research projects sucessfully.

Especially worth to be mentioned is the IAL‘s participation at *Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität (Fraunhofer E-Mobility System Research)*, a publicly funded major project with the aim to develop a new e-mobile.

Fortunately, the number of students which are interested in specialising at the IAL is with 40 to 50 students still remaining on a high level. Nevertheless, the number of first-year EE students at Leibniz Universität is still low (approx. 100).

Regarding our curriculum, the IAL has laid its emphasis on further developing the quality of our lectures. As a result, we are very proud that Cornelia Stübig has been awarded the *Preis für exzellente Lehre (Prize for Excellent Teaching)*, assigned by the Leibniz Universität Hannover for the first time. In addition, the newly founded Niedersächsische Technische Hochschule (NTH, Technical University of Lower Saxony) has also influenced our curriculum – but not as intended. Since filling vacant professorships at our faculty has been blocked by the government for more than one year and still is, Prof. Mertens took over the lecture *Data Processing Systems*, filling in for his retired colleague Prof. Gerth, Institute of

Automatic Control.

Meanwhile, the IAL regularly takes part with technical papers in important international conferences, like ICEM, EPE, IEEE IAS and PESC, Actuator or Speedam. With the publication of the third volume *Theorie elektrischer Maschinen (Theory of Electrical Machines)*, Prof. Ponick was able to complete the new edition of the book series *Elektrische Maschinen (Electrical Machines)* founded by Prof. Müller, Technische Universität Dresden.

Within the Leibniz Universität, Prof. Ponick has been re-elected Director of the Hannover Center for Mechatronics and Academic Dean for Electrical Engineering and Information Technology for the next two years. Prof. Mertens has been elected Speaker of the faculty in the field of Electrical Engineering, thus being a member of the deanery, too.

During the next year, all IAL staff members will be busy to work on the numerous new projects they are entrusted with, elaborating optimum results which will meet the high expectations 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 2009

Professuren an unserer Fakultät seit über einem Jahr blockiert werden, hat Prof. Mertens vertretungsweise die Vorlesung *Datenverarbeitungssysteme* des in den Ruhestand getretenen Regelungstechnik-Kollegen Prof. Gerth übernommen.

Die Mitarbeiter des IAL beteiligen sich inzwischen regelmäßig mit Beiträgen an allen wichtigen internationalen Konferenzen der Antriebstechnik wie z. B. ICEM, EPE, IEEE IAS und PESC, Actuator oder Speedam. Mit der Erscheinung des dritten Bands *Theorie elektrischer Maschinen* konnte Prof. Ponick inzwischen gemeinsam mit Prof. Müller die Überarbeitung der von diesem begründeten Buchreihe *Elektrische Maschinen* abschließen.

Innerhalb der Universität wurde Prof. Ponick erneut für jeweils zwei weitere Jahre zum Geschäftsführenden Leiter des Mechatronik-Zentrums Hannover und zum Studiendekan für Elektrotechnik und Informationstechnik gewählt. Prof. Mertens wurde zum Sprecher des Bereichs Elektrotechnik der Fakultät gewählt und ist damit ebenfalls Mitglied des Dekanats.

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, im Dezember 2009

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	Chairman of the Division Q1 Power Electronics of the Power Engineering Society ETG (Technical Society of the VDE)
2009	Head of Electric Drives Group within Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Applied Materials Research

Curriculum Vitae

Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick

Welfengarten 1

30167 Hannover

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

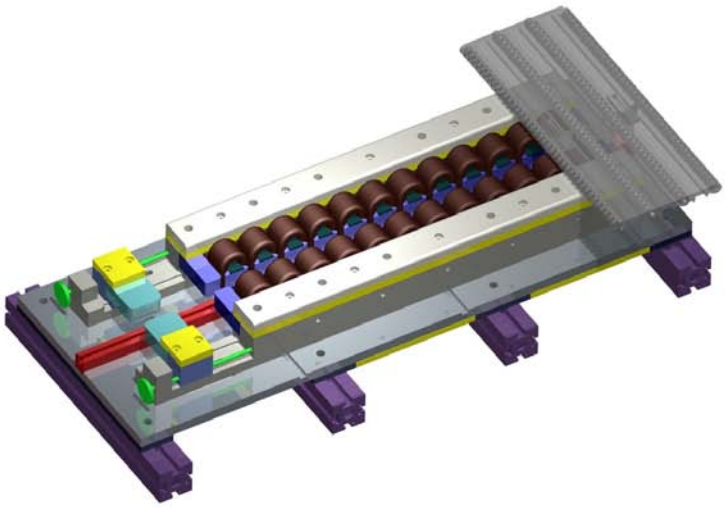
Fax: +49(0)511/762-3040

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
2009	Head of Electric Drives Group within Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Applied Materials Research

Forschung am IAL: Projektberichte

Research at IAL: Project Reports



Permanentmagneterregter Synchron-Linearmotor zum Antrieb eines Förderbandes

Permanent Magnet Linear Synchronous Motor for a Direct-driven Conveyer

Berechnung von Motorlagerströmen bei Umrichterspeisung

von Dipl.-Ing. Michael Kriese

Die Mechanismen, die zur Entstehung von Lagerströmen führen, sind seit einigen Jahren bekannt, und für einige wenige Kombinationen aus Umrichter, Motor und Motorzuleitung wurden empirische Ergebnisse gewonnen. Es bestehen zwar eine Reihe von Abhilfemaßnahmen, aber die Grundparameter, welche eine nachfolgende Lagerschädigung begünstigen, sind noch nicht hinreichend aufgeklärt.

In enger Zusammenarbeit mit der Siemens AG und dem Institut für Maschinenelemente, Konstruktionstechnik und Tribologie (IMKT) der Leibniz Universität Hannover beschäftigt sich das IAL daher mit der Entwicklung eines Lagerstrommodells, welches die Lagerströme aus verschiedenen Grundgrößen für jeden beliebigen Motor berechnen kann, um schließlich eine Aussage hinsichtlich der Lagerlebensdauer treffen zu können.

Unterschieden wird zwischen zwei Lagerstromarten, die für das Lager gefährlich sein können. Einerseits treten bei niedrigen Drehzahlen, zirkulierende Lagerströme auf. Je nach Achshöhe können hier Stromspitzen von 3 bis 10A beobachtet werden.

Andererseits treten bei hohen Drehzahlen hauptsächlich sogenannte „EDM-Ströme“ (**E**lectric **D**ischarge **M**achining) auf. Verursacht durch die umrichterbedingte Gleichtaktspannung und die kapazitive Einkopplung dieser Spannung auf den durch den Schmierspalt des Lagers gebildeten „Kondensator“ kommt es zu kleinen elektrischen Durchschlägen im Lager. Dies führt zu einer Mattierung der Laufbahn. Die Durchschläge im Lager stehen zudem im Verdacht, sogenannte Lagerriffel zu erzeugen, die in kürzester Zeit ein Lager zerstören können.

Das Forschungsprojekt hat zum einen zum Ziel, die zu erwartenden Amplituden der einzelnen Lagerströme vorauszuberechnen und zum anderen, die Lebensdauer des Lagers bei bestimmten Betriebsbedingungen abzuschätzen. Somit kann letztlich entschieden werden, ob teure Zusatzmaßnahmen zum Schutz vor Lagerströmen notwendig sind oder ob darauf verzichtet werden

Calculation of Bearing Currents in Converter-fed Machines

by Dipl.-Ing. Michael Kriese

The mechanisms leading to bearing currents are already known for some years, but empirical results could up to now only be achieved for a few converter/motor/supply constellations. Although a variety of corrective measures exists, the basic parameters finally damaging a bearing have not been sufficiently investigated yet.

In close cooperation with Siemens AG and the Institute of Machine Elements and Engineering Design (IMKT) of Leibniz Universität Hannover, the IAL has developed a model to predict bearing currents for any motor, based on different geometrical and electrical parameters, thus giving information on the expected bearing life.

There are two types of bearing currents which can be responsible for bearing damages. On the one hand, circular bearing currents can occur at low speeds. Depending on the shaft height, current peaks of 3 to 10A are possible.

On the other hand, so-called EDM peaks (**E**lectric **D**ischarge **M**achining) can be observed at high speeds. Since the common mode voltage generated by the converter is capacitively coupled into the “capacitor” formed by the lubricant of the bearing, electric discharges can occur in the bearing. This causes a matt bearing race. It is presumed that discharges also provoke so-called bearing grooves which can deteriorate a bearing quite shortly.

Goal of this research project is to precalculate the expected amplitudes of the single bearing currents and to estimate the bearing life under certain operating conditions. This helps to decide, whether expensive protective measures to prevent bearing currents are required or not.

In cooperation with the IMKT, the IAL has developed a software which can precalculate the amplitude as well as the time characteristic of circular and EDM currents using a HF model of the machine. Uncritical speed ranges

can be predicted, too.

Based on comprehensive practical experiences and sensors to detect bearing currents developed by Siemens AG as well as on bearing parameters retrieved at the IMKT, it is possible to develop an optimal protection against bearing damages caused by bearing currents.

Fig. 1 shows the comparison between the circular currents measured at a motor with 355 mm shaft height and the simulation results.

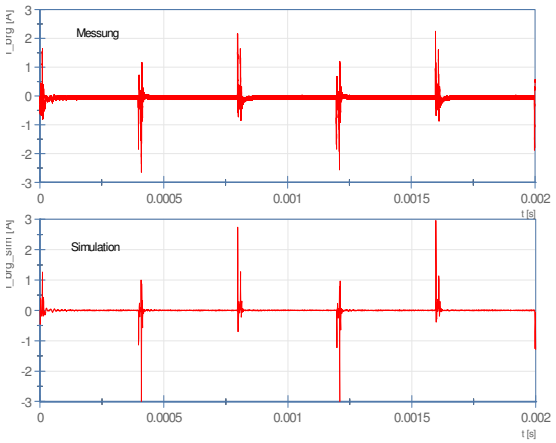


Abb. 1: Zirkularstrom bei niedrigen Drehzahlen
Fig. 1: Circular current at low speeds

Fig. 2 shows an EDM peak measured for the same motor and the respective simulated current curve. In both cases, there is a good match of simulation and measurement results.

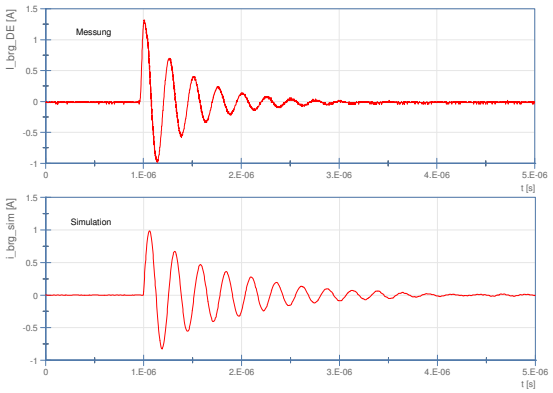


Abb. 2: EDM-Peak bei hohen Drehzahlen
Fig. 2: EDM peak at high speeds

kann.

Inzwischen wurde am IAL in Zusammenarbeit mit dem IMKT eine Berechnungssoftware entwickelt, die über das HF-Modell der Maschine nicht nur die Amplitude sondern auch den Zeitverlauf sowohl zirkularer als auch von EDM-Lagerströmen vorausberechnen kann. Eine Vorhersage unkritischer Drehzahlbereiche ist ebenso möglich.

Mit den umfangreichen Praxiserfahrungen und einer Lagerstromsensorik der Siemens AG und den am IMKT gewonnenen Lagerparametern ist es so möglich, einen optimalen Schutz vor Lagerschäden durch Stromdurchgang zu entwickeln.

Abb. 1 zeigt für einen Motor der Achshöhe 355 die gemessenen Zirkularströme im Vergleich zum simulierten Stromverlauf.

Abb. 2 zeigt einen gemessenen EDM-Strom-Peak an demselben Motor und dazu den simulierten Stromverlauf. In beiden Fällen lässt sich eine gute Übereinstimmung von Messung und Simulation feststellen.

Adaptive Ansteuerverfahren für IGBTs mit digitalisierten Treiberstufen

von Dipl.-Ing. Harald Kuhn

Im DFG-Projekt „Adaptive Ansteuerverfahren für IGBTs mit digitalisierten Treiberstufen“ werden innovative Methoden untersucht, um das Schaltverhalten von spannungsgesteuerten Halbleiterbauelementen zu optimieren. Stand der Technik ist, dass die Eingangskapazitäten dieser Bauelemente über eine Spannungsquelle und Gate-Vorwiderstände ge- und entladen werden. Die Wahl dieser Vorwiderstände stellt immer einen Kompromiss zwischen verschiedenen Zielen (Verluste, Gradienten) und Randbedingungen (Zwischenkreisspannung, zu schaltender Strom) dar und ist somit in den meisten Fällen kein Optimum.

Ziel in diesem Projekt ist es nun, das Schaltverhalten von leistungselektronischen Hochleistungsbauelementen unabhängig von den Randbedingungen zu optimieren. Dazu muss der Treiber bzw. die darauf implementierte Regelung den Zeitverlauf bestimmter elektrischer Größen und daraus extrahierte Kennwerte wissen. Die Signalverläufe werden dazu digitalisiert und einer Recheneinheit zugeführt. Diese kann nun aus den gewonnenen Informationen in einem implementierten Algorithmus die optimale Stellgröße,

Adaptive Driving Concepts for IGBTs with Digital Gate Units

by Dipl.-Ing. Harald Kuhn

The project „Adaptive Driving Concepts for IGBTs with Digital Gate Units” funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) deals with innovative methods to optimise the switching behaviour of voltage-controlled semiconductor devices. It is state-of-the-art to charge and discharge the input capacitance of these devices with a voltage source via gate resistors. The choice of these resistors is always a compromise between different goals (losses, gradients) and boundary conditions (DC-bus voltage, current to be switched), therefore representing no optimum in the most cases.

The aim of this project is to optimise the switching behaviour of power semiconductors independent of the boundary conditions. For this purpose, the gate unit has to know about the waveforms of different electrical signals and of the evolution of characteristic values, respectively. The analog signals are digitised and fed to a FPGA. With this information, the optimum control value, the gate current, can be calculated using an adaptive algorithm, which is implemented in a microcontroller. The

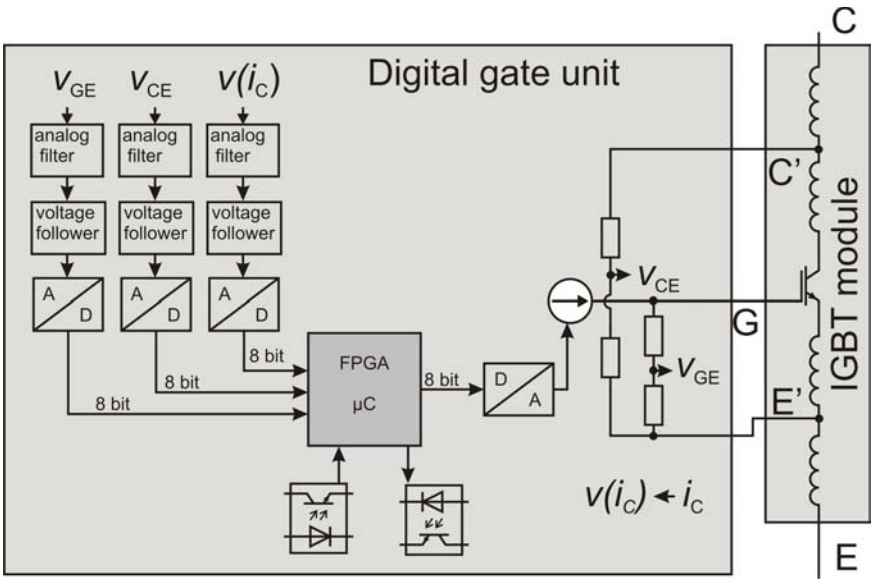


Abb. 1: Prinzipskizze einer digitalisierten Treiberstufe

Fig. 1: Schematic of a digital gate unit

new control value is used in a fast current source feeding the gate of the semiconductor, in order to adapt the switching process to the required behaviour. A schematic of this digital gate unit is shown in Fig. 1.

A prototype of the gate unit can be seen in Fig. 2. The measuring path consists of frequency-compensated voltage dividers and three analog-to-digital-converters for the collector-emitter-voltage, the gate-emitter-voltage and the collector current. These signals are fed to a development board (combination of FPGA and µC), where the adaptive control algorithm is implemented. The optimised gate current is converted to an analog voltage, which is the input of a current source charging the input capacity of the IGBT.

Due to the fact that the gate unit knows about $i_C(t)$, $v_{CE}(t)$ and $v_{GE}(t)$, more information about the semiconductor may be extracted from these curves: losses, saturation voltage, temperature (using temperature sensitive electrical parameters). In the future, variations in the thermal impedance R_{th} or the saturation voltage may be detected to conclude the condition of solder joints and bond wires.

Using a gate unit with the proposed adaptive switching methods shall allow to operate the semiconductor under all boundary conditions in an optimal way, thus rising the power density of high power converters.

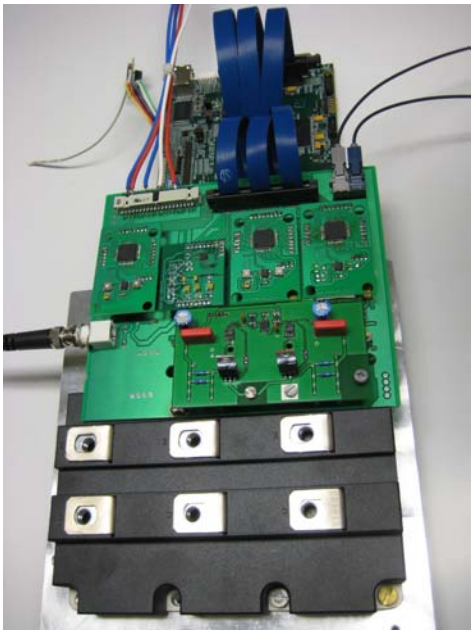


Abb. 2: Prototyp einer digitalisierten Treiberstufe
Fig. 2: Prototype of a digital gate unit

den Gatestrom, berechnen. Dieser neue Sollwert wird über eine schnelle analoge Stromquelle dem Gate zugeführt, um den Halbleiterschalter optimal anzusteuern. Eine Prinzipskizze dieser Anordnung ist in Abb. 1 zu sehen.

Ein Prototyp der digitalen Treiberstufe ist in Abb. 2 dargestellt. Man erkennt die Messeinrichtung mit den frequenzkompensierten Spannungsteilern und die drei Analog/Digital-Wandlern für den Kollektorstrom, die Kollektor-Emitter-Spannung und die Gate-Emitter-Spannung. Diese Werte werden dem Entwicklungsboard, eine Kombination von FPGA und Mikrocontroller, zugeführt, auf dem der adaptive Algorithmus implementiert ist. Der darin berechnete, optimierte Gatestrom wird der analogen Strom-Endstufe über einen Digital/Analog-Wandler zugeführt.

Durch die Tatsache, dass auf der Treibereinheit die Zeitverläufe $i_C(t)$, $u_{CE}(t)$ und $u_{GE}(t)$ vorhanden sind, können weitere Informationen über den Halbleiter gesammelt werden: Verluste, Sättigungsspannung, Temperatur, (über temperatursensitive elektrische Parameter), möglicherweise in Zukunft Veränderungen des thermischen Widerstandes R_{th}. Das Wissen über die thermische Impedanz und die Sättigungsspannung kann genutzt werden, um auf den Zustand interner Lötungen und den Zustand von Bonddrahtverbindungen zurückzuschließen.

Der Einsatz dieser Treibereinheiten mit den adaptiven Ansteuerverfahren soll es ermöglichen, die Halbleiter über den gesamten Einsatzbereich besser ausnutzen zu können und somit die Leistungsdichte von Hochleistungsumrichtern noch weiter zu erhöhen. Weitere Vorteile werden von der besseren Kenntnis des Betriebszustands erwartet.

Gezielte Anisotropien

von Dipl.-Ing. Jakub Emmrich

Im FVA-Förderprojekt *Gezielte Anisotropien* wurden die Möglichkeiten und Grenzen für die Nutzung von Anisotropien in umrichtergespeisten Induktions- und permanentmagneterregten Synchronmaschinen untersucht, um eine geberlose Drehzahl- bzw. Rotorlageerfassung zu ermöglichen. Neben der Untersuchung der gezielt einzubringenden Anisotropien wurde ebenfalls Augenmerk darauf gelegt, ob die üblichen Motorausführungen bereits nutzbare Anisotropien aufweisen.

Bei Induktionsmaschinen mit Käfigläufer hat sich die Nutzung von nutungsharmonischen Oberschwingungen im Ständerstrom als zu bevorzugende Lösung herauskristallisiert. Die Nutöffnungen im Läufer führen entlang des Umfangs zu periodischen Schwankungen des Luftspaltleitwerts, die nach der Drehfeldtheorie Paare von Nutungsoberwellen hervorrufen. Diese induzieren abhängig von der Wahl der Läufernutzahl in der Ständerwicklung sogenannte nutungsharmonische Oberschwingungen (Abb. 1), aus denen sich die Drehzahl der Induktionsmaschine berechnen lässt.

Zur Überprüfung der analytischen Ergebnisse wurde ein computerbasierter Messaufbau realisiert, der durch Filterung und Frequenzerkennung der nutungsharmonischen Stromoberschwingung die Drehzahl berechnet. In Abb. 2 ist die Messung des dynamischen Drehzahlverlaufs bei einem beispielhaften Belastungsprofil bei sinusförmiger Speisung dargestellt. Im Vergleich zu einer optischen Drehzahlmessung ergab sich eine Drehzahlabweichung von unter 1%. Das Verfahren ist auch bei Umrichterspeisung einsetzbar, da gerade bei geringer Drehzahl ein ausreichender Abstand zwischen der Frequenz der Nutungsharmonischen und der durch den Umrichter verursachten Oberschwingungen besteht.

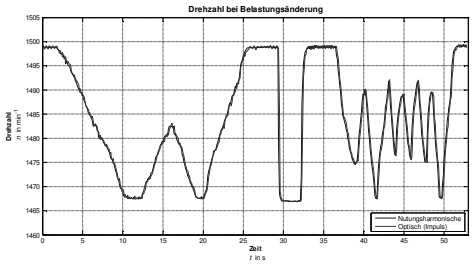


Abb. 2: Dynamische Drehzahlmessung (f_1=50Hz)

Fig. 2: Dynamic speed measurement (f_1=50Hz)

Selective Anisotropies

by Dipl.-Ing. Jakub Emmrich

The FVA research project “Selective Anisotropies” deals with the possibilities and limits using anisotropies in converter-fed induction and permanent magnet synchronous machines, with the aim to achieve a sensorless speed or positon control of the rotor. It was additionally examined, whether conventional motor designs already contain usable anisotropies.

In cage induction motors, the use of slot harmonics in the stator current has proved to be the most favorable solution. The slot openings in the rotor lead to periodically changing magnetic permeances in the air gap along the circumference, producing pairs of spatial slot harmonics according to the rotating field theory. Depending on the number of slots in the rotor, they induce so-called slot harmonics of the current (Fig. 1) in the stator winding, based on which the speed of the induction machine can be calculated.

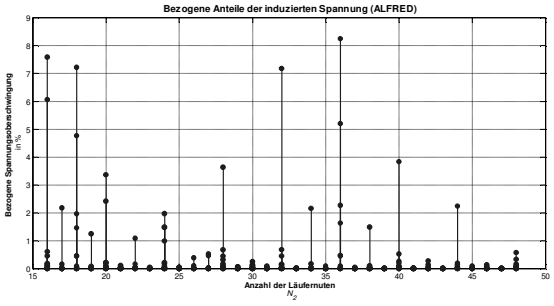


Abb. 1: Oberschwingungsanteile für unterschiedliche Läufernutzahlen

Fig. 1: Harmonic content for different numbers of rotor slots

To verify the analytical results, a computer-based test setup was installed, identifying the speed by filtering and frequency determination of the slot harmonics of the current. Fig. 2 shows the dynamic speed measurement for an example load profile with sine supply. Compared to an optical speed measurement, the speed variation was less than 1%. This method can also be applied for converter supply. Especially for low speeds, there is a sufficient distance between the frequency of the slot harmonic currents and the harmonics caused by the converter.

In the project part referring to permanent magnet synchronous machines, the necessary calculations of the motor performance characteristics were realised via FEMAG (Finite Element calculation software). Its different modules allow to analyse a large variety of motor parameters (torque, cogging torque, d- and q-axis inductance, saturation-dependent mutual inductance).

Fig. 3 shows the most common geometrical rotor designs for permanent magnet synchronous machines, used for the numerical calculations.

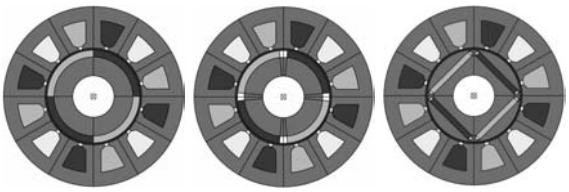


Abb. 3: Motorgeometrien

Fig. 3: Motor geometries

The single geometries are compared on the basis of selected parameters, which are important performance characteristics for the use in sensorless evaluation systems. These are the inductivity difference based on saturation effects caused by the permanent magnets and the stator current, the usable signal, the fault angles in position control and the motor torque.

As an example, Table 1 shows the effects of selected motor parameters of a rotor with surface magnets and reduced mass moment of inertia. This geometry shows three degrees of freedom: PM thickness, current and size of opening in the rotor. As can be seen from the table, it is not possible for some parameters to make a global statement concerning the behaviour of the characteristic under investigation. In this case, additional comments and restraints must be specified.

With respect to the stator geometry and the winding, additional parameters must be considered, having influence on the suitability of a motor for sensorless position control.

Im Projektteil zu permanenterregten Synchronmotoren wurden die notwendigen Berechnungen der Motorbetriebsgrößen unter Zuhilfenahme der Finite-Elemente-Berechnungssoftware *FEMAG* durchgeführt. Diese bietet durch diverse Module die Möglichkeit, eine Vielzahl von Motorparametern (Drehmoment, Rastmoment, Längs- und Querinduktivität, sättigungsabhängige Gegeninduktivität etc.) zu berechnen.

In Abb. 3 sind die gängigsten Ausführungen von Rotorgeometrien für permanenterregte Synchronmaschinen dargestellt, die für die numerischen Berechnungen genutzt wurden. Für den Vergleich der einzelnen Geometrien werden ausgewählte Parameter verwendet, die wichtige Betriebsgrößen für den Einsatz in geberlosen Auswertesystemen darstellen: die Induktivitätsdifferenz aufgrund der Sättigungseffekte durch die Permanentmagnete und die Bestromung, die Berücksichtigung des Nutzsignals, der Fehlerwinkel in der Lageschätzung und das Drehmoment.

Als Beispiel sollen in Tabelle 1 die Auswirkungen ausgewählter Motorparameter eines Rotors mit Oberflächenmagneten und reduziertem Massenträgheitsmoment dargestellt werden. Bei dieser Geometrie ergaben sich drei Freiheitsgrade: die Dicke der Permanentmagnete, die Bestromung und die Breite der Aussparung im Rotor. Anhand der Tabelle wird deutlich, dass es für einige Parameter nicht möglich ist, eine pauschale Aussage über das Verhalten der untersuchten Größe zu treffen. In diesem Fall müssen zusätzliche Anmerkungen bzw. Einschränkungen formuliert werden.

	ΔL	**ΔL_{sat}**	**L_{dq}**	**Sig-**	**M**
PM thickness ↑	↓	1	2	↓	↑
Current ↑	↑		↑3	↑	↑
Opening width	↑		↓	↑	↓

Tabelle 1: Eigenschaften des Oberflächenmagnetrotors mit reduziertem Trägheitsmoment (Typ C)

Table 1: Surface magnet rotor properties with reduced moment of inertia (type C)

Unter Einbeziehung der Statorgeometrie und der Wicklung ergibt sich eine Vielzahl von weiteren Parametern, die die Eignung eines Motors für die geberlose Lageerfassung erheblich beeinflussen.

Einfluss von nichtlinearen Umrichtereffekten auf geberlose Regelverfahren von permanentmagneterregten Synchronmaschinen auf Basis der Hochfrequenz-Injektion

von Dipl.-Ing. Karsten Wiedmann

Auf dem Gebiet der sensorlosen Regelung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen (PMSM) bis Drehzahl Null hat sich die Hochfrequenzinjektion (HF-Injektion) als eines der vielversprechendsten Verfahren herausgestellt. Das Verfahren basiert auf der Detektion der differentiellen Induktivitätsdifferenz in Längs- (d-Achse) und Querrichtung (q-Achse) des Rotors. Hierzu wird der grundfrequenten Ständerspannung eine hochfrequente überlagert. Diese wiederum erregt einen hochfrequenten Strom, der durch die sich mit der Rotorlage ändernde Induktivität moduliert wird. Die Trägerfrequenz beträgt dabei ca. das 10 bis 20-fache der Nennfrequenz der Maschine. Durch entsprechende Filterung und Demodulation kann somit die Rotorlage bestimmt werden. Je nach Form der hochfrequenten Spannung wird zwischen rotierender und alternierender HF-Injektion unterschieden. Bei der rotierenden HF-Injektion wird ein mit der Trägerfrequenz rotierender Spannungsraumzeiger eingeprägt. Bei der alternierenden HF-Injektion hingegen wird ein Spannungsraumzeiger, dessen Amplitude mit der Trägerfrequenz alterniert, in die geschätzte d-Achse des Rotors eingeprägt.

In der Regel werden die hier behandelten PMSM über einen Umrichter angesteuert. Dies hat zur Folge, dass nichtlineare Störspannungen erzeugt werden, die die Rotorlageschätzung negativ beeinflussen. Je nach Art des Umrichters können diese Störspannungen unterschiedlich stark ausgeprägt sein. Der Hauptanteil der Störspannung wird durch die Schaltverzugszeit der Halbleiterbauelemente des Umrichters und den Einfluss parasitärer Kapazitäten hervorgerufen. In Abb. 1 ist im ständerfesten Koordinatensystem dargestellt, welche Störspannungsraumzeiger hervorgerufen werden. Es ist zu beachten, dass die Störspannung nichtlinear vom Strom abhängt. Das Koordinatensystem ist in sechs verschiedene Sektoren (S_1-S_6) unterteilt. Je nach-

Converter Nonlinearity Effects on Sensorless Control for Permanent Magnet Synchronous Machine Drives Based on High-frequency Signal Injection

by Dipl.-Ing. Karsten Wiedmann

In the field of sensorless control for permanent magnet synchronous machines (PMSM) down to zero speed, high-frequency injection (HF injection) proved to be one of the most promising methods. It is based on detecting the different inductances in d- and q-axis of a rotor by superimposing the fundamental stator voltage by a high-frequency voltage signal. This generates a high-frequency current, modulated by the inductance changing in dependence of the rotor position. The carrier frequency is approx. 10 to 20 times higher than the nominal frequency of the machine. The rotor position can thus be analysed by an appropriate filtering and demodulation. Depending on the shape of the high-frequency voltage signal, it can be differentiated between rotating and alternating HF injection. For rotating HF injection, a voltage space phasor is induced which rotates with carrier frequency. For alternating HF injection, a voltage space phasor is induced into the estimated d-axis of the rotor, whereas its amplitude alternates with the carrier frequency.

In general, the PMSMs mentioned in this report are fed by a converter. This causes nonlinear voltage distortions having a negative effect on the estimation of the rotor position. Depending on the converter type, these voltage distortions can be different. The main portion of the voltage distortion is caused by the dead time of the semiconductor elements in the converter and the influence of parasitic capacitances. Fig. 1 shows which space phasors occur. It has to be considered that there is a nonlinear dependency between voltage distortion and current. The coordinate system is divided into six different sectors (S_1-S_6). Depending on the sector of the phase current space phasor, the respective voltage distortion space phasor ($V_{1,error}$-$V_{6,error}$) is dis-

played. (If the phasor is in S1, this leads to $V_{1,error}$ etc.). The phase current analysed for the rotor position estimation is high-pass filtered. For this reason, the rotor position estimation is only affected by voltage distortions having high-frequency portions. This is the case, when the resulting current space phasor which consists of a fundamental and a high-frequency portion ($\underline{I}_f$, $\underline{I}_{HF}$), is close to one of the sector limits, as can be seen in Fig. 1. When the high-frequency current passes the sector limit, a voltage distortion space phasor is produced. It is composed of a DC portion ($\underline{V}_{error,dc}$) and a high-frequency portion ($\underline{V}_{error,HF}$), the high-frequency portion having negative effects on the HF injection.

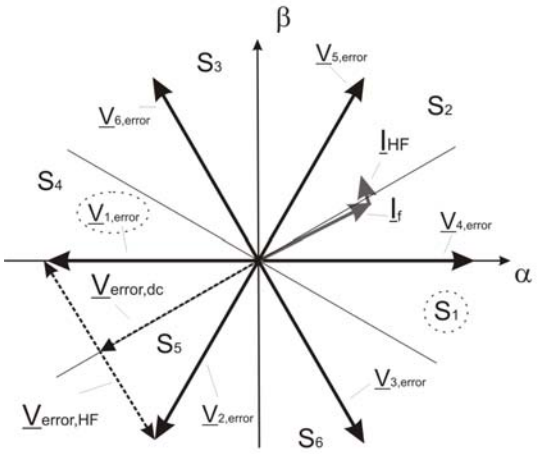


Abb. 1: Raumzeiger der Störspannung

Fig. 1: Voltage distortion space phasor

Here, it must be distinguished between alternating and rotating HF injection. When the fundamental current has only a q portion, the high-frequency voltage distortion is directed to the d-axis. It is added to the required value of the alternating voltage space phasor, only having a dampening effect with respect to the current intensity. For rotating HF injection, the voltage distortion has no linear effects, provoking a phase displacement of the analysed high-frequency current, thus leading to a wrong estimation of the rotor position.

In case of q current control, it can be concluded that alternating HF injection is less susceptible to converter nonlinearity effects than rotating HF injection.

dem, in welchem Sektor sich der Raumzeiger des Strangstromes befindet, wird ein entsprechender Störspannungsraumzeiger hervorgerufen ($V_{1,error}$-$V_{6,error}$). (Befindet sich der Stromzeiger in S_1 wird $V_{1,error}$ erzeugt usw.). Der für die Rotorlageschätzung ausgewertete Strangstrom wird hochpassgefiltert. Die Störspannung hat somit nur einen Einfluss auf die Rotorlageschätzung, wenn sie einen hochfrequenten Anteil aufweist. Dies ist dann der Fall, wenn sich der resultierende Stromraumzeiger, der aus einem grundfrequenten und einen hochfrequenten Anteil besteht ($\underline{I}_f$, $\underline{I}_{HF}$), einer der Sektorgrenzen nähert, wie auch in Abb. 1 zu sehen ist. Dadurch, dass der hochfrequente Strom die Sektorgrenze überschreitet, wird ein Störspannungsraumzeiger erzeugt, der sich aus einem Gleichanteil ($\underline{V}_{error,dc}$) und einem hochfrequenten Anteil ($\underline{V}_{error,HF}$) zusammensetzt. Der hochfrequente Anteil hat einen störenden Einfluss auf die HF-Injektion.

Hierbei muss jedoch zwischen der alternierenden und rotierenden HF-Injektion unterschieden werden. Besteht der grundfrequente Strom nur aus einem q-Anteil, so ergibt sich, dass die hochfrequente Störspannung in Richtung der d-Achse ausgerichtet ist. Sie ist somit dem Sollwert des alternierenden Spannungsraumzeigers überlagert und hat bzgl. der Stromintensität nur eine dämpfende Wirkung. In Bezug auf die rotierende HF-Injektion wirkt sich die Störspannung hingegen nicht linear aus, wodurch eine Phasenverschiebung des ausgewerteten hochfrequenten Stromes hervorgerufen wird, was wiederum einen Fehler der Rotorlageschätzung hervorruft.

Bei entsprechender Stromregelung (reine q-Bestromung) lässt sich somit sagen, dass die alternierende HF-Injektion weniger anfällig gegenüber nichtlinearen Umrichtereffekten ist als die rotierende HF-Injektion.

Wechselrichtertopologien zur Anbindung von Energiespeichern an das Mittelspannungsnetz

von Dipl.-Ing. Lennart Baruschka

Im Rahmen der Teilnahme am Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN) beschäftigt sich das IAL mit der Anbindung von Energiespeichern an das Mittelspannungsnetz. Eine solche Anbindung wird in Zukunft nötig sein, um kurzzeitig Regelleistung zur Verfügung stellen zu können, beispielsweise um Abweichungen zwischen Prognose- und tatsächlich auftretenden Leistungen größerer regenerativer Erzeuger ausgleichen zu können.

Während sich für die Speicheranbindung an das Niederspannungsnetz der spannungseinprägende Pulswechselrichter in Zweipunkt-Topologie durchgesetzt und bewährt hat, ist die Topologiefrage für den Mittel- und Hochspannungsbereich noch nicht beantwortet.

Grundsätzlich kommt auch hier die Zweipunkttopologie in Betracht; aufgrund der höheren Spannung steigt jedoch der Aufwand für ein geeignetes Netzfilter.

Einen geringen Filteraufwand verlangen Multilevel-Wechselrichter; diese erlauben die Erzeugung mehrerer diskreter Ausgangsspannungen und nähern so die gewünschte sinusförmige Spannung schon ohne Filter besser an. Je größer die Anzahl der diskret erreichbaren Ausgangsspannungen ist, umso kleiner kann das Filter folglich ausfallen.

Für in der Praxis bis zu 5 Ausgangsspannungsniveaus geeignet sind nichtmodulare Multileveltopologien wie Diode-Clamped- oder Capacitor-Clamped-Wechselrichter, die sich durch einen einfachen Aufbau und eine vergleichsweise einfache Ansteuerung auszeichnen.

Sind mehr Ausgangsspannungsniveaus gewünscht, steigt bei den nichtmodularen Topologien der Aufwand zur Einhaltung der einzelnen Spannungsniveaus sowie zum nötigen niederinduktiven Aufbau deutlich an. Aus diesem Grund bietet sich der Einsatz einer modularen Topologie an. Zu nennen sind an dieser Stelle insbesondere der kaskadierte H-Brücken-

Converter Topologies for Connecting Energy Storage Systems to Medium-voltage Grids

by Dipl.-Ing. Lennart Baruschka

Participating in the Forschungsverbund Energie Niedersachsen FEN (Energy Research Group Lower Saxony), the IAL is working on the connection of energy storage systems to medium-voltage grids. In future, such connections will be increasingly needed to provide temporary control, i.e. to compensate deviations between predicted and actual power supplied by the large renewable energy providers.

Whereas two-level voltage-source inverters proved to be the most suitable solution for connecting energy storage systems to low-voltage grids, the question which topology is best, has not been solved yet for the medium- and high-voltage range.

In general, two-level topologies with several devices connected in series are applicable here, too; higher voltages increase, however, the complexity of an appropriate mains filter.

Multilevel converters require less filtering; they support the generation of several discrete output voltage levels, so that the required sinusoidal voltage can be reached nearly without filtering. The larger the number of discrete output voltages, the less filtering is required.

Nonmodular multilevel topologies like diode-clamped or capacitor-clamped converters proved in practice to be suitable for no more than 5 output voltage levels. Advantageous is their simple structure and control.

In nonmodular topologies, more output voltage levels imply more complexity in realising the voltage levels and a low-inductance design. Here the use of modular topologies like the cascaded H-bridge converter (CHB, Fig. 1) and the modular multilevel converter (M^2C, Fig. 2) is a more promising approach.

The modular topologies shown in Fig. 1 and 2 are quite different in how energy storage sys-

tems are connected: CHB converters have a small energy storage system in each module, while M^2C converters have one energy storage system concentrated in the DC link which has therefore to be much larger.

Distributing energy storage systems to several small modules has a positive effect as far as reliability is concerned. Nevertheless, energy storage systems in CHBs are subject to higher alternating load than in M^2Cs. Present investigations deal with the question how to minimise such alternating load in CHBs.

Wechselrichter (CHB), vgl. Abb. 1, sowie der modulare Multilevel-Wechselrichter (M²C), vgl. Abb. 2.

Letztgenannte Topologien unterscheiden sich insbesondere in Hinsicht auf die Speicheranbindung erheblich voneinander: Während sich beim CHB-Wechselrichter ein kleiner Energiespeicher in jedem Modul befindet, verfügt der M²C über einen konzentrierten Energiespeicher im Zwischenkreis, der entsprechend größer auszulegen ist.

Die Verteilung des Energiespeichers auf mehrere kleinere Module wirkt sich positiv auf die Ausfallsicherheit aus, gleichzeitig unterliegen die Energiespeicher beim CHB jedoch einer deutlich höheren Wechselbelastung als beim M²C. Inwieweit sich die Wechsellast beim CHB minimieren lässt, ist derzeit Gegenstand der Untersuchung.

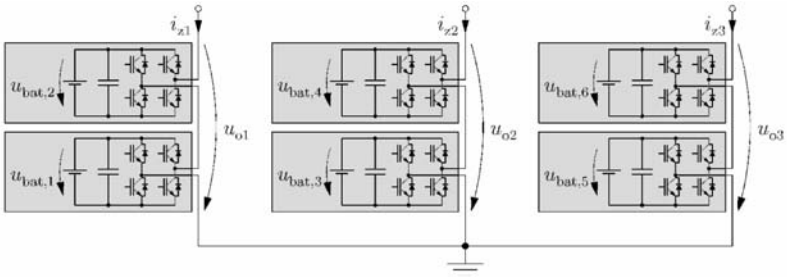


Abb. 1: Kaskadierter H-Brücken-Wechselrichter

Fig. 1: Cascaded H-bridge converter

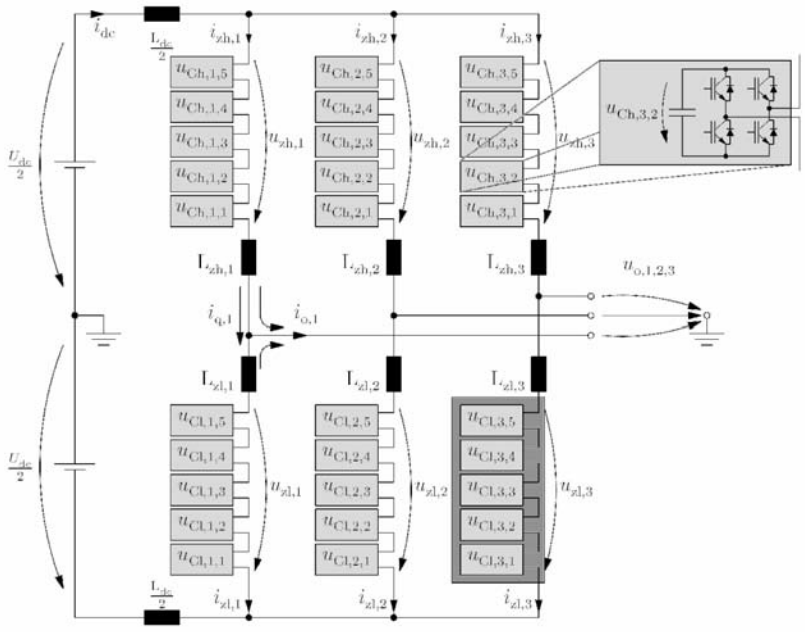


Abb. 2: Modularer Multilevel-Wechselrichter

Fig. 2: Modular multilevel converter

Nutvariation bei Induktionsmaschinen

von Dipl.-Ing. Eike Garbe

Der von technischen Anlagen ausgehende Lärm stellt eine Belastung für Menschen dar, die in deren Umfeld leben oder arbeiten. Elektrische Maschinen müssen daher neben rein funktionellen Anforderungen auch den Anforderungen eines möglichst geräuscharmen Betriebs gerecht werden.

Da das menschliche Lärmempfinden nicht direkt proportional zur resultierenden Schallleistung ist, sondern ebenfalls eine Abhängigkeit von der Form des Geräuschspektrums zeigt, lässt sich der subjektiv empfundene Lärm bei gleichbleibender Schallleistung reduzieren.

In diesem Projekt steht die Optimierung des magnetisch erzeugten Lärms im Vordergrund. Das Drehmoment von Drehfeldmaschinen ergibt sich aus Induktionswellen, welche im Luftspalt der Maschinen umlaufen. Neben der Hauptwelle entsteht dabei ein zum Teil breites Spektrum von Oberwellen. Aus den Feldwellen resultieren Maxwellsche Grenzflächenspannungen, die den Ständer mit einzelnen Frequenzen in verschiedenen Eigenformen zu Schwingungen anregen.

Aufgrund der regelmäßigen Ständer- und Läufernutverteilungen von Induktionsmaschinen ergeben sich magnetische Leitwert- und Strombelagsverteilungen, die unter anderem ausgeprägte Läufer-Restfelder zur Folge haben, welche in vielen Fällen an der Entstehung relativ lauter Einzeltöne beteiligt sind. Wesentlich angenehmer für den Menschen ist jedoch ein Geräuschspektrum, welches bei gleicher oder geringerer Schallleistung diese Leistung auf möglichst viele Frequenzen verteilt.

Dieses Wissen soll auf die Konstruktion von Induktionsmaschinen mit Käfigläufern angewendet werden. Die Idee besteht darin, die Läufernuten in Lage und Form über den Umfang so zu variieren, dass das akustische Spektrum der Maschine aufgeweitet wird und damit eher der Eindruck eines Rauschens entsteht, welches optimalerweise in jeder Oktave dieselbe Leistung enthält.

Mit der Variation der Läufernutpositionen und Formen lässt sich die bestehende Theorie zur analytischen Beschreibung von Induktionsma-

Slot Variations in Induction Machines

by Dipl.-Ing. Eike Garbe

Noise produced by technical installations is a stress factor for all human beings living or working nearby. Therefore, electrical machines must meet specific functional requirements as well as produce as few noise as possible.

Since human's sensitivity to noise is not directly proportional to the resulting sound power, but also depends on the harmonic content of the noise spectrum, the noise subjectively perceived by someone can be reduced at constant sound power.

This project mainly deals with the optimisation of magnetically generated noise. The torque in three-phase machines is produced by spatial harmonics of the flux density in the air gap of the machines. Additionally to the fundamental, a wide spectrum of spatial harmonics is produced. The spatial harmonics of the flux density lead to Maxwell stress tensors, exciting stator vibrations in different vibration modes and frequencies.

A regular slot distribution in the stator and rotor of induction machines causes a distribution of the magnetic permeances and the current, which, among others, leads to considerable residual magnetic fields in the rotor. This, however, contributes in many cases to the appearance of relatively loud single tones. A spectrum of noise, where the sound power is distributed to as many frequencies as possible, would be considered by humans to be far less disturbing.

Regarding the design of cage induction machines, the idea is to vary position and form of rotor slots along the circumference to obtain an acoustic spectrum of the machine, which is as wide as possible. In this way, the human ear rather perceives random noise having in the optimal case the same power in each octave.

The existing theory to describe induction machines analytically cannot be applied with slot and form variations in a rotor. The correlations are much more complex in this respect.

For this reason, a theory frame was developed during the last one and a half year allowing the analytical description of cage induction machines with an arbitrary arrangement of rotor slots of any shape. For this purpose, quite exact machine geometry models, but also models with abstracted geometrical and electrical properties were used. The latter do not serve for an exact calculation, but for a better understanding of the machine behaviour.

First results have shown that such rotor slot variations positively lead to a reduction of the magnetic noise. Design rules, which, besides the electrical and acoustic properties, provoke as few torque ripple as possible, have to consider complex interactions and are difficult to handle. Goal of this project is therefore to investigate the effect when changing single parts of the machine geometry as well as to elaborate a guideline for the design of cage induction machines with slot variations.

The development of a calculation program based on the analytical description of a machine for analysing the effects is nearly completed. In addition, it is already possible to simulate the electrical phenomena as well as the forces in the air gap using the time stepping version of the finite element program FEMAG that has been developed in parallel by IAL. In this way, the influence of magnetic saturation caused by inhomogeneous slotting can be considered, too.

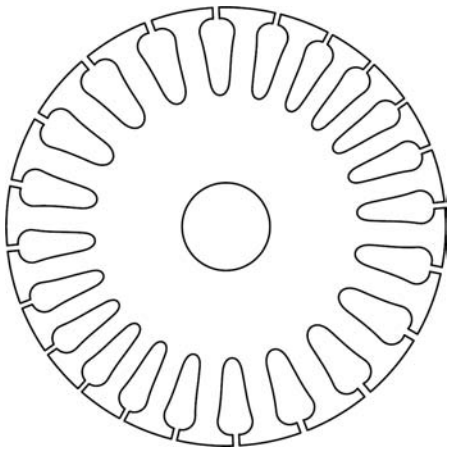


Abb. 1: Beispiel einer Läufergeometrie

Fig. 1: Example of a rotor geometry

schinen nicht direkt anwenden. Zudem ergeben sich deutlich komplexer zu durchschauende Zusammenhänge.

Aus diesem Grund ist in den vergangenen eineinhalb Jahren ein Theoriegerüst entstanden, mit dessen Hilfe sich Induktionsmaschinen mit Käfigläufer bei beliebiger Anordnung beliebig geformter Läufernuten analytisch beschreiben lassen. Dabei kommen sowohl relativ genaue Modelle mit diskret betrachteter Maschinengeometrie, aber auch Modelle, bei denen bereits die geometrischen und elektrischen Eigenschaften abstrahiert sind, zur Anwendung. Letztere dienen weniger zur exakten Berechnung, sondern vielmehr zum Verständnis der Vorgänge in der Maschine.

Es zeichnet sich ab, dass das untersuchte Verfahren der Nutvariation tatsächlich auf ruhigere Maschinen führt. Ein Entwurfsgang, der neben den elektrischen und akustischen Eigenschaften auch auf möglichst geringe Drehmomentpulsationen führt, basiert dabei auf Wechselwirkungen, die gegenüber regelmäßig aufgebauten Maschinen wesentlich schwieriger zu durchdringen sind. Daher ist das Ziel des Projektes neben der Untersuchung der Auswirkung einzelner Veränderungen an der Motorgeometrie insbesondere der Aufbau eines Leitfadens zum Entwurf von Induktionsmaschinen mit Käfigläufer bei Variation der Nutpositionen und Nutformen.

Zur Nachrechnung der Effekte befindet sich ein Rechenprogramm, dem eine analytische Beschreibung der Maschine zugrunde liegt, in der fortgeschrittenen Entwicklung. Zudem ist es bereits möglich, mit der parallel entwickelten Zeitschrittversion des an der ETH Zürich entwickelten und am IAL gepflegten Finite-Elemente-Programms FEMAG die elektrischen Vorgänge sowie die Luftspaltkräfte zu simulieren und so auch die bei inhomogener Nutung lokal veränderte Eisensättigung zu berücksichtigen.

Anwendung von SB-ZePoC in einphasigen Umrichtern

von Dipl.-Ing. Niklas Rüger

In den letzten beiden Jahren wurde im Rahmen eines DFG-Projekts in Zusammenarbeit mit dem Institut für Theoretische Elektrotechnik an der Leibniz Universität Hannover (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Mathis) ein Pulsmodulationsverfahren zur Anwendung in der Leistungselektronik untersucht. Das Verfahren ist unter dem Namen Zero-Position-Coding mit separiertem Basisband (SB-ZePoC) bekannt und wurde für digitale Audioverstärker entwickelt. Auf Basis dieser Überlegungen wird eine Anwendung in der Leistungselektronik zur Pulsmustergenerierung untersucht.

Der SB-ZePoC-Algorithmus besitzt die Eigenschaft einer definierten Bandlücke zwischen dem Bereich der Signalfrequenz (f_{sig}) (hier: gewünschte Grundausgangsfrequenz des Umrichters) und den hochfrequenten Anteilen auf Grund der Schaltfrequenz (f_{sw}) und deren Intermodulationen mit der Signalfrequenz. Diese Bandlücke liegt bei dem Verfahren beim Einsatz einer Halbbrücke zwischen der Signalfrequenz und der halben Schaltfrequenz. Diese Bandlücke wird mit einer Reduktion des maximalen Aussteuergrads bei höheren Signalfrequenzen erkauft.

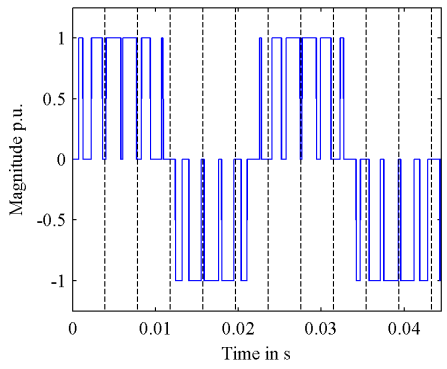


Abb. 1: Spannung über der Last bezogen auf die Zwischenkreisspannung bei RPWMDA für f_{sig} 45 Hz, f_{sw} 254 Hz, *M* 90%

Fig. 1: Load voltage with respect to the DC link voltage using RPWMDA: f_{sig} 45 Hz, f_{sw} 254 Hz, M 90%

Im Folgenden werden nun die Vorteile für die Anwendung eines auf dem SB-ZePoC-Verfahren basierenden Steuerverfahrens für einen einphasigen Vollbrücken-Wechselrichter beschrieben.

Implementation of SB-ZePoC for Single-phase Inverters

by Dipl.-Ing. Niklas Rüger

In the last two years, a pulse modulation scheme for power electronic applications has been developed in cooperation with the Institute of Electromagnetic Theory at the Leibniz Universität Hannover (Head: Prof. Dr.-Ing. W. Mathis). The project is founded by the DFG. The modulation scheme is called Zero-Position-Coding with separated baseband (SB-ZePoC) and was developed for digital audio amplifiers. Based on these results, the application of this modulation scheme to generate switching pulse patterns in power electronics has been investigated.

The SB-ZePoC algorithm produces switching pulse patterns, which have the advantage of a band gap between the signal frequency (f_{sig}) (here: fundamental output frequency of the converter) and the higher frequency components which result from the switching frequency (f_{sw}) and their intermodulations with the signal frequency. This band gap is between the signal frequency and half the switching frequency. The band gap is achieved at the cost of a reduced maximum modulation index at higher signal frequencies.

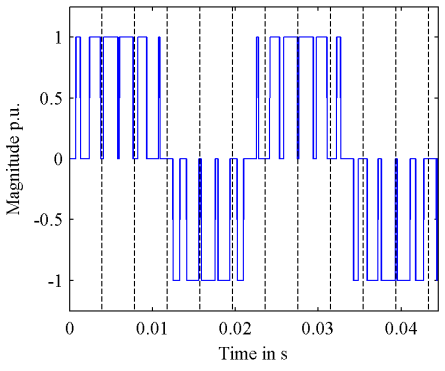


Abb. 2: Spannung über der Last bezogen auf die Zwischenkreisspannung bei SB-ZePoC für f_{sig} 50 Hz, f_{sw} 254 Hz, *M* 90%

Fig. 2: Load voltage with respect to the DC-link voltage using SB-ZePoC: f_{sig} 45 Hz, f_{sw} 254 Hz, M 90%

In the following, advantages of a newly developed switching pulse pattern generation scheme based on the SB-ZePoC algorithm for

a three-level single-phase converter will be discussed. The maximum modulation index must be reduced, if the ratio f_{sw} to f_{sig} is lower than four. The developed pulse pattern will be compared with a double-edged asymmetrically sampled pulse width modulation (RPWMDA). The results are derived by neglecting the dead time and the voltage drop across the semiconductor devices. These effects influence both pulse pattern generation schemes in the same manner.

The comparison is shown for a signal frequency f_{sig} = 45 Hz, switching frequency f_{sw} = 254 Hz (f_{sw}/f_{sig} = 5.644) and modulation index of M = 90 %. Comparing the time domain signals of the output voltage (normalised to the DC link voltage) for both switching schemes shows almost no difference (see Fig. 1 and Fig. 2). In these pictures, the switching periods are marked by dashed lines. A substantial difference between these two switching schemes can only be recognised by comparing the frequency spectra of the respective load voltages. The spectrum using the RPWMDA switching scheme has 3rd (here 135 Hz) and 5th (225 Hz) harmonic components (see Fig. 3). These two harmonic components are not seen in the spectrum using the SB-ZePoC modulation scheme (see Fig. 4). The region below the switching frequency (marked as a dashed line) is free of distortions.

In future, the implementation of SB-ZePoC for three-phase inverters will be investigated.

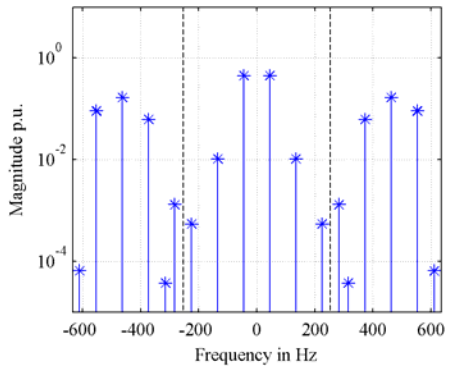


Abb. 3: Spektrum zu RPWMDA aus Abb. 1: f_{sig} 50 Hz, f_{sw} 254 Hz, M 90%

Fig. 3: Spectrum for RPWMDA from Fig. 1: f_{sig} 45 Hz, f_{sw} 254 Hz, M 90%

Die Bandlücke reicht hier bis zur vollen Schaltfrequenz. Eine Reduktion des Aussteuergrades muss hier ab einer Taktzahl kleiner als vier erfolgen. Das entwickelte Verfahren wird mit einem zweifach asymmetrisch abgetasteten Pulsweitenmodulationsverfahren (RPWMDA) verglichen. Bei den Ergebnissen sind Effekte auf Grund von notwendigen Totzeiten und Spannungsabfällen über den Halbleiterbauelementen vernachlässigt. Die hieraus resultierenden Effekte treten in gleicher Weise bei beiden Modulationsverfahren in Erscheinung.

Der Vergleich erfolgt bei einer Signalfrequenz von 45 Hz und einer Schaltfrequenz von 254 Hz (Taktzahl 5,644) und einem Aussteuergrad von 90 %. Aus den zeitlichen Verläufen der auf die Zwischenkreisspannung bezogenen Lastspannung in Abb. 1 und Abb. 2 ergeben sich keine wesentlich erkennbaren Unterschiede. In den Abbildungen ist die Schaltperiode als gestrichelte Linie eingezeichnet. Erst eine spektrale Analyse der Spannung zeigt die wesentlichen Unterschiede in der Spannung. Beim RPWMDA-Verfahren treten erkennbar bei 45 Hz die 3. (135 Hz) und 5. (225 Hz) Harmonische in den Vordergrund (siehe Abb. 3). Diese sind in dem hier vorgestellten Steuerverfahren SB-ZePoC nicht enthalten (siehe Abb. 4). Dieses weist bis zur Schaltfrequenz (im Spektrum durch eine gestrichelte Linie markiert) keine Störungen auf.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird nun die Realisierung von SB-ZePoC für einen dreiphasigen Umrichter untersucht.

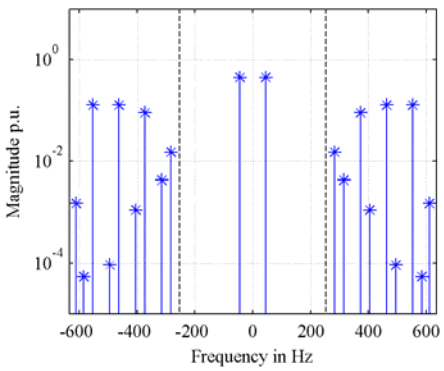


Abb. 4 Spektrum zu SB-ZePoC aus Abb. 2: f_{sig} 50 Hz, f_{sw} 254 Hz, M 90%

Fig. 3 Spectrum for SB-ZePoC from Fig. 2: f_{sig} 45 Hz, f_{sw} 254 Hz, M 90%

Entwurf und Aufbau eines direkt angetriebenen Förderbandes

von Dipl.-Ing. Jan-Peter Jastrzembski

In der Intralogistik werden Förderbänder eingesetzt, um Stückgüter innerhalb eines Gebäudes oder eines Geländes zu verteilen oder zu sortieren. Derartige Förderbänder sind üblicherweise mit zwei Umlenktrommeln ausgerüstet, wobei mindestens eine dieser Trommeln für den Antrieb des Förderbandes verwendet wird. Ein seitlich angebrachter Getriebemotor sorgt dabei für die gewünschte Vorschubkraft.
Damit jedoch mittels Haftreibung zwischen Band und Antriebstrommel eine Kraft in das Band eingeleitet werden kann, muss das Band entsprechend vorgespannt werden. In Verbindung mit der Antriebskraft kommt es dabei zu einer Zugbelastung des Bandes, die dessen mechanische Dimensionierung bestimmt. Beim Umlauf des Bandes um die Antriebstrommel kommt es zu einer ungewünschten Relativbewegung zwischen Trommel und Band (Dehnschlupf), die in hohem Maße zum Verschleiß des Bandes beiträgt.
Um auch längere Förderbänder nach diesem Prinzip aufbauen zu können, werden zusätzliche Zwischenantriebe benötigt, die z.B. als angetriebene Tragrollen ausgeführt werden. Da der Umschlingwinkel zwischen Tragrolle und Band vergleichsweise klein ist, kann aufgrund der geringen Kontaktfläche zwischen Band und Tragrolle auch nur eine kleine zusätzliche Vorschubkraft eingeleitet werden. Derartige Konzepte sind deshalb eher ineffizient. Alternativ kann das Band z.B. S-förmig um eine weitere Antriebs- und eine Umlenktrommel geführt werden, um die Effektivität des Zwischenantriebs zu erhöhen. Allerdings ist es so aus konstruktiven Gründen nicht mehr möglich Mitnahmevorrichtungen an der Förderbandoberfläche aufzubauen (z.B Becherförderer).
Diese Aspekte bilden die Motivation für das DFG-Projekt „Modellierung eines Lineardirektantriebs für Förderbänder“, das in Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Transport und Automatisierungstechnik (ITA) der Leibniz-Universität Hannover und dem IAL durchgeführt wird. Ziel dieses Forschungs-vorhabens ist die Entwicklung eines Linearmotors, der das Förderband direkt und damit kontaktlos antreibt.
Teile des Antriebs müssen deshalb in das Förderband integriert werden. Je nach Wirkungs-

Design of a Direct-driven Conveyor

by Dipl.-Ing. Jan-Peter Jastrzembski

In intralogistics, conveyors are used to share cargo within an industrial building or area. Usually the conveyor is equipped with two drums, at least one of them being used for driving the conveyor. A geared motor, wich is mounted sideways, delivers the desired feeding force.

To induce a feeding force, static friction is necessary between the conveyor and the driving drum. The spanning force in addition to the feeding force leads to a high mechanical charge of the conveyor. The maximum force determines the mechanical design of the belt. Another disadvantage is the relative movement between belt and driving drum during revolution. This effect is also known as slip-stick effect, which contributes to a high level of wear.

To build up very long conveyors, it is necessary to arrange intermediate drives along the distance. These drives can consist of a support roller, for example. As the contact area between the roller and the conveyor is very small and therefore the transmitted feeding force is small too, such drives are comparatively ineffective. Alternatively it is also possible to pass the conveyor S-shaped around two additional drums to increase the effectiveness of the intermediate drive. However this forbids carrying equipment on the surface of the conveyor (e.g. bucket elevator conveyor) for constructional reasons.

These aspects are the motivation for this project, which is a cooperation of the Institute for Automation and Transportation Technology (ITA), Leibniz Universität Hannover, and IAL. The project has the intention to develop a linear drive, which moves the conveyor directly. It is funded by the German Research Association (DFG).

The secondary part has to be implemented into the conveyor. Due to the principle of operation of the motor, the secondary part consists of windings, flux carrying parts or permanent magnets.

Due to the resulting effects and the mechanical complexity to bring in windings or electrical conductors in the conveyor, motors with such a secondary part are not ideal for this application. To get a preferably high force density, the use of permanent magnets was chosen here.

Linear motors with a single-sided air gap have the characteristic of a high normal force, which is approximately five to ten times higher than the feeding force. For this reason, a double sided design was selected, where normal forces ideally compensate each other.

As the motor has to be mounted between carrying and returning side of the conveyor, its design has to be very compact. Therefore the motor is equipped with tooth windings.

The motor is designed for delivering a feeding force of 200 N at a speed of 2 m/s. The design of the motor was optimised by FEM calculations and manufactured with the help of Wittenstein cyber motors. High attention was payed to the minimization of force ripple.

Abb. 2: Demonstrator

Fig. 2: Demonstrator

The motor was integrated in a demonstrator, which was constructed and built by ITA. Therefore, an apron conveyor was used, which is predestined for the demonstrator due to its solid structure. It is possible by means of a geared DC motor to simulate load cases of the conveyor and simultaneously measure the power of the linear drive.

In future, it is planned to build a drive concept for flexible conveyors, too.

prinzip des Motors müssen Wicklungen, flussführende Werkstoffe oder Permanentmagnete im oder am Förderband angebracht sein. Wicklungen bzw. elektrische Leiter in das Förderband einzubringen ist aufgrund der damit verbundenen Effekte und des konstruktiven Aufwandes nicht zweckmäßig. Wegen einer möglichst hohen Kraftdichte wurden deshalb Permanentmagnete am Band vorgesehen.

Linearmotoren mit einseitigem Luftspalt besitzen die Eigenschaft, sehr hohe Normalkräfte zu entwickeln, die in der Größenordnung der fünf- bis zehnfachen Vorschubkraft liegen. Aus diesem Grund wurde ein doppelseitiger Aufbau gewählt, bei dem sich die Normalkräfte idealerweise gegenseitig kompensieren.

Da der Motor zwischen Ober- und Untertrum angeordnet wird, ist ein möglichst flacher und kompakter Aufbau wünschenswert. Der Motor besitzt aus diesem Grund eine Zahnspulenwicklung.

Der Antrieb wurde für eine Vorschubkraft von 200 N bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 2 m/s ausgelegt. Mittels FEM-Simulationen wurde ein geeigneter Entwurf gefunden und mit Hilfe der Firma Wittenstein cyber motor hergestellt. Dabei wurde besonders auf die Minimierung der Kraftwelligkeit Wert gelegt.

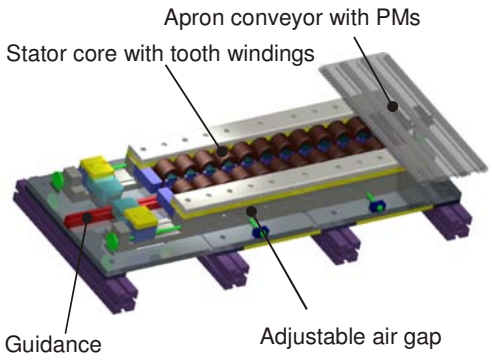


Abb. 1: CAD-Modell des Motors

Fig. 1: CAD model of the motor

Für die Erprobung des Antriebs ist am ITA ein Demonstrator hergestellt worden, in dem der Antrieb integriert wurde. Dabei wird ein Kunststoffmodulband verwendet, welches wegen seiner starren Struktur prädestiniert für den Demonstrator ist. Über einen Gleichstrom-Getriebemotor ist es damit möglich, Auflasten des Förderbandes zu simulieren und gleichzeitig die Leistung des Linearmotors zur messen.

Für die Zukunft ist geplant auch ein Antriebskonzept für flexible Förderbänder in die Tat umzusetzen.

Switched-Capacitor-DC/DC-Wandler für Anwendungen kleiner Leistung

von M.Sc. Vijay Ganesan

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 516 „Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme“ wurden mehrere Konzepte für eine energieeffiziente Stromversorgung von Mikrolinearmotoren untersucht. Neben einem hohen Wirkungsgrad soll die Stromversorgung auch kompakt ausgeführt sein. Zu diesem Zweck wurde ein **S**witched-**C**apacitor-(SC)-DC/DC-Wandler verwendet, wodurch keine Drossel erforderlich ist und dieser potentiell in einem integrierten Schaltkreis untergebracht werden kann.

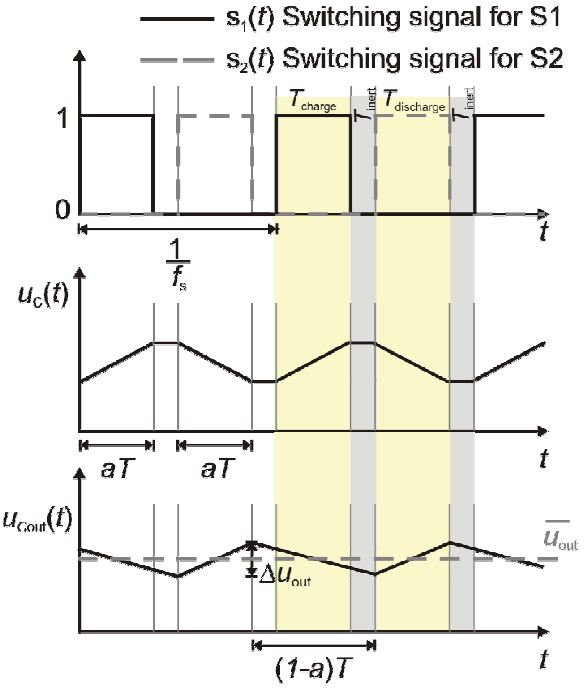


Abb. 2: Spannungsverläufe des SC-DC/DC-Wandlers

Fig. 2: Voltage response of a SC DC/DC converter

Ähnlich wie bei herkömmlichen DC/DC-Wandlern mit einer Drossel wird bei SC-DC/DC-Wandlern die Eingangsspannung auf den gewünschten Wert herauf- oder herabgesetzt. Bei dieser Untersuchung wurde nur der Abwärtswandler betrachtet. Das Funktionsprinzip des SC-DC/DC-Wandlers ist als zweistufige Topologie in Abb. 1 dargestellt. Abb. 2 zeigt die Schalt- und Spannungsverläufe im stationären Betrieb. Bei jedem Schaltvorgang durchläuft der SC-DC/DC-Wandler drei verschiedene Zustände. Wenn S_1

Switched Capacitor DC/DC-Converters for Low Power Applications

by M.Sc. Vijay Ganesan

In the scope of the Collaborative Research Centre 516 “Design and Manufacturing of Active Micro Systems”, several concepts of efficient power supply for micro linear actuators have been investigated. Apart from having a high efficiency, the power supply should also be compact. A switched capacitor (SC) DC/DC converter has been proposed for this purpose, as it eliminates the inductor and hence can be integrated in an integrated circuit (IC).

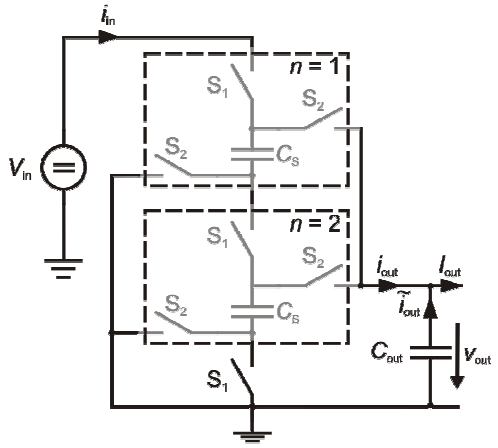


Abb. 1: Ersatzschaltbild eines zweistufigen SC-DC/DC-Wandlers

Fig. 1: Equivalent circuit diagram of a two-level SC DC/DC converter

Similar to conventional DC/DC converters with coil, the SC DC/DC converters are used to step down or step up the input voltage to the desired value. In this work, only the step-down SC DC/DC-converters have been considered. The working principle of the SC DC/DC converter can be explained with a two-level series parallel topology shown in Fig. 1. Fig. 2 shows the switching and voltage signals in stationary condition. In each switching period, the SC DC/DC converter is switched through three different states. When S_1 is high and S_2 is low, the switching capacitors C_s are connected in series with the input voltage and each of them is charged to half the input voltage. When S_2 is high and S_1 is low, each of the charged switching capacitors are connected to the output in parallel. This results in an output

voltage of $V_{in}/2$. When both S_1 and S_2 are low, all the switches are switched off and the circuit remains in an inert phase. The output voltage regulation can be done by varying 1) the switching frequency f_s (PFM), 2) the duty cycle *a* (PWM), 3) the level *n*, and 4) the input current i_{in}.

An analytical model of the SC DC/DC converter has been developed to analyse the effects of the different regulation concepts and circuit parameters on its performance. Fig. 3 shows the theoretical efficiency of a five-level SC DC/DC converter with different levels *n*, which can be achieved through the suitable switching signals.

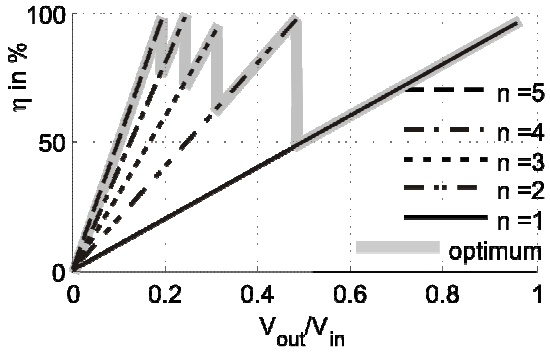


Abb. 3: Wirkungsgrad des SC-DC/DC-Wandlers mit Änderung der Stufenzahl

Fig. 3: Efficiency of the SC DC/DC converter as a function of output voltage for different levels

The efficiency of the SC DC/DC converter is given approximately by

$$\eta = \frac{V_{in}}{n \cdot V_{out}}$$

As shown by the analytical result, by selecting a suitable level *n*, higher efficiencies can be achieved for the output voltage range (0 to 0,5 V_{in}). Apart from these integer values for *n*, non integer values like *n = 1.25, 1.33, 1.5, 1.6* and *2.5* can also be achieved by modifying the switching signals. This can further improve the efficiency of the SC DC/DC converter for an output voltage between $V_{in}/2$ and V_{in}. The analytical results are verified through simulations and experiments.

The advancement in the field of semiconductor integration paves way for integrating the switch array of the SC DC/DC converter in an IC. Depending on the power rating, the capacitors required can be either integrated or connected externally.

When appropriately designed a SC DC/DC-converter can be an alternative for conventional DC/DC converters, with a high power density without compromising in efficiency of the converter.

eingeschaltet und S_2 ausgeschaltet ist, sind die Kondensatoren C_s mit der Eingangsspannung in Reihe geschaltet, und zwar jeweils mit der Hälfte der Eingangsspannung. Ist S_2 eingeschaltet und S_1 ausgeschaltet, sind beide Kondensatoren parallel zum Ausgang. Hierdurch ergibt sich eine Ausgangsspannung von $V_{in}/2$. Sind sowohl S_1 wie auch S_2 ausgeschaltet, ist der Schaltkreis inaktiv. Die Regelung der Ausgangsspannung kann durch Veränderung 1) der Schaltfrequenz f_s (PFM), 2) des Aussteuergrads a (PWM), 3) der Stufenzahl n und 4) des Eingangsstroms i_{in} erfolgen.

Um die Auswirkungen der verschiedenen Regelungskonzepte und der Schaltungsparameter auf das Betriebsverhalten bewerten zu können, wurde ein analytisches Modell des SC-DC/DC-Wandlers entwickelt. In Abb. 3 ist der Wirkungsgrad eines fünfstufigen SC-DC/DC-Wandlers mit Änderung der Stufenzahl n theoretisch dargestellt; dies wird durch geeignete Wahl der Schaltsignale erreicht.

Der Wirkungsgrad des SC-DC/DC-Wandlers ergibt sich näherungsweise aus

$$\eta = \frac{V_{in}}{n \cdot V_{out}}$$

Das analytische Ergebnis zeigt, dass bei entsprechend gewählter Stufenzahl n für den Ausgangsspannungsbereich (0 bis 0,5 V_{in}) ein höherer Wirkungsgrad erzielt werden kann. Durch Veränderung der Schaltsignale kann n auch Werte n = 1,25, 1,33, 1,5, 1,6 und 2,5 einnehmen. Hierdurch lässt sich der Wirkungsgrad des SC-DC/DC-Wandlers bei einer Ausgangsspannung von $V_{in}/2$ bis V_{in} ebenfalls verbessern. Die analytischen Ergebnisse werden durch Simulationen und Versuche verifiziert.

Durch die auf dem Gebiet der Halbleitertechnik erzielten Fortschritte ist es möglich, die Schaltung eines SC-DC/DC-Wandlers in einem integrierten Schaltkreis unterzubringen. Je nach Leistungsanforderung an den Wandler können die Kondensatoren entweder integriert oder extern gesetzt werden.

Bei entsprechender Auslegung stellt der SC-DC/DC-Wandler für kleinere Leistungen bei hoher Leistungsdichte und hohem Wirkungsgrad des Wandlers eine Alternative zu herkömmlichen DC/DC-Wandlern dar.

Berechnung der charakteristischen Reaktanzen von Schenkelpol-Synchronmaschinen mit analytischen und numerischen Verfahren

von Dipl.-Ing. Rainer Helmer

Die charakteristischen Reaktanzen von Schenkelpol-Synchronmaschinen sind aufgrund der komplizierten Feldsituation analytisch schwer zu erfassen. Daher wurde ein numerisches Verfahren auf Basis des 2D-Finite-Elemente Programms FEMAG entwickelt, welches deutlich bessere Ergebnisse für die sättigungsabhängigen Übergangsreaktanzen liefert. Die analytischen Vergleichsrechnungen wurden mit SPSYN, einem analytischen Berechnungsprogramm für Schenkelpol-Synchronmaschinen durchgeführt. Die Ergebnisse beider Berechnungsmethoden wurden mit Messergebnissen von neun Synchronmaschinen verglichen. Abb. 1 zeigt den Stoßkurzschlussstrom eines Stranges nach einem dreipoligen Kurzschluss der Statorwicklung. Im Moment des Kurzschlusseintritts müssen die Flussverkettungen aller im Feld liegenden Wicklungen (Stator- und Erreger- sowie Dämpferwicklung) nach der Lenzschen Regel (1) konstant bleiben:

$$(1) \quad u_i = -\frac{d\phi}{dt} = 0 -> \phi = \text{const.}$$

Die in FEMAG neu implementierte Makrofunktion simuliert den Zustand nach einem dreipoligen Kurzschluss der Statorwicklung. In FEMAG-DC kann dazu wahlweise der Strom oder die Flussverkettung einer Wicklung vorgegeben werden. Die zweite Wicklungsgröße wird dann numerisch berechnet. Da der manuelle Aufbau von FEM-Modellen von elektrischen Maschinen mitunter sehr zeitaufwendig sein kann, wurde die Generierung von Knotenketten, die Vermaschung sowie die Zuweisung von Subregionen und Materialkennlinien in FEMAG vollständig automatisiert. Auch die Wicklungen werden automatisch entworfen.

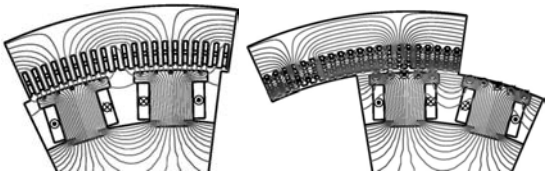


Abb. 2: Leerlauf und transiente Feldsituation

Fig. 2: No-load and transient field situation

Determination of Transient Reactances of Salient Pole Synchronous Machines with Analytical and Numerical Methods

by Dipl.-Ing. Rainer Helmer

The transient and subtransient reactances of synchronous machines are difficult to predict analytically due to the complicated field situation. Normally, much better results can be achieved with numerical simulations than with analytical calculations, thus taking into account the exact saturation behaviour. In this study nine salient pole synchronous machines are investigated. The following numerical simulations are done with FEMAG, a tool for electromagnetic 2D problems. The analytical calculations are done with SPSYN, an analytical program for salient pole synchronous machines. The results of both calculations are compared with measurements.

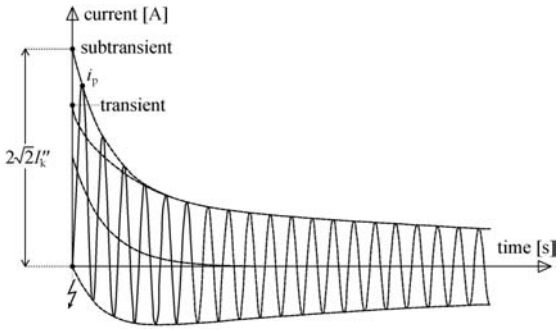


Abb. 1 Statorstoßkurzschlussstrom

Fig.1 Short circuit current of stator winding

Fig. 1 shows the current in a stator phase after a sudden three phase short circuit. At the moment of the short circuit, the fluxes in all windings (stator winding, field winding, damper winding) are kept approximately constant according to Lenz's law (1):

$$(1) \quad u_i = -\frac{d\phi}{dt} = 0 -> \phi = \text{const.}$$

The newly implemented macro in FEMAG simulates this situation after a sudden three phase short circuit. In FEMAG-DC, the current or the flux in a winding can be impressed alternatively. The second magnitude then is calculated numerically. As manually building

up a FEM model of an electrical machine is very time-consuming, the generation of the node chains and mesh, the definition of subregions, material constants and windings is completely automated within the macro function. Afterwards, a no-load calculation is performed. Therefore, the no-load exciter current I_{e0} inducing the rated voltage U_N in the mains is applied. To calculate the transient reactances in the next step, all winding definitions are changed from "wires&current" into "wires&flux". In this way, all no-load fluxes in the windings are kept constant. Then the rotor is rotated until the maximum current in the stator phase aligning with the rotor direct axis is induced. This current is reached by rotation by one pole pitch τ_p. In this position, a nonlinear field calculation is performed again, and the currents and fluxes of the stator phases are evaluated and transformed into the d-q reference frame. The direct axis transient reactances then can be calulated from

$$(2)\quad X_d'' = 2\pi f_1 \frac{\psi_d''}{I_d''} \quad .$$

In the subtransient case, induced currents in the damper bars are taken into consideration, in the transient case, they were neglected. Fig. 2 shows the no-load and the transient field situation for an automatically generated salient-pole synchronous machine. As the FEM models are generated automatically and only three nonlinear field calculations (no-load, subtransient and transient field situation) are required, the numerical calculation of the transient reactances is very quick and delivers very good results, as the comparison with measurements shows in Tab. 1. The analytical program SPSYN calculates saturated and non-saturated reactances at rated voltage $U_1 = U_N$ and $U_1 = 0{,}3*U_N$, respectively. It is obvious that the numerical results are generally better than the analytical results. Except for one case, the deviations between measurement and calculation are mostly lower than 10 %.

Anschließend wird eine Leerlaufberechnung durchgeführt. Dazu wird der Leerlauferregerstrom I_{e0}, der die Bemessungsspannung U_N im Stator induziert, in die Erregerwicklung eingeprägt. Um die transienten Reaktanzen zu berechnen, werden im nächsten Schritt alle Wicklungen im FEM-Modell von „wires&current" in „wires&flux" umdefiniert. Auf diese Weise werden ihre Leerlaufflüsse eingefroren. Anschließend wird der Rotor gedreht, bis sich der maximale Strom in dem Statorstrang einstellt, der im Leerlauf dieselbe Magnetisierungsachse wie die d-Achse des Läufers aufweist. Dieser Strom stellt sich nach Rotation um eine Polteilung τ_p ein. In dieser Position wird wiederum eine nichtlineare Feldberechnung durchgeführt, die Flussverkettungen und Ströme der Statorstränge werden ausgewertet und in das läuferfeste d-q-Koordinatensystem transformiert. Die transienten Reaktanzen können dann gemäß

$$(2)\quad X_d'' = 2\pi f_1 \frac{\psi_d''}{I_d''}$$

ausgewertet werden. Zur Berechnung der subtransienten Reaktanz der Längsachse muss die Wirkung der in der Dämpferwicklung induzierten Ströme berücksichtigt werden. Im transienten Fall werden keine Ströme in den Dämpferstäben induziert. Da die FEM-Modelle automatisch generiert werden und nur drei nichtlineare Feldberechnungen notwendig sind (Leerlauf, subtransienter und transienter Zustand), ist das Verfahren trotz numerischer Feldberechnung sehr schnell und liefert gute Ergebnisse, wie ein Vergleich mit Messergebnissen in Tab. 1 zeigt. Das analytische Programm SPSYN berechnet mit Näherungsformeln sowohl gesättigte Reaktanzen bei $U_1 = U_N$ als auch ungesättigte Reaktanzen bei $U_1 = 0{,}3*U_N$. Man erkennt, dass die numerischen Ergebnisse durchweg besser als die der rein analytischen Nachrechnung sind. Abgesehen von einem Fall sind die Abweichungen zwischen numerischer Berechnung und Messung kleiner als 10 %.

				measurement		SPSYN		FEMAG	
machine	U_N / V	P_N / kW	n_1 / min^{-1}	X_d' / Ohm	X_d'' / Ohm	X_d' / Ohm	X_d'' / Ohm	X_d' / Ohm	X_d'' / Ohm
a	13800	7650	327,27	7,57	5,3	(s) 6,77	(s) 4,38	(s) 7,48	(s) 5,325
b	13800	10350	600	3,8	3,19	(ns) 4,045	(ns) 2,398	(s) 3,69	(ns) 3,26
c	13800	9000	327,27	7,42	5,25	(ns) 6,36	(ns) 4,19	(s) 7,48	(s) 5,556
d	13800	10152	360	5,78	4,67	(ns) 5,83	(ns) 3,73	(s) 6,63	(s) 4,93
e	13800	8757	327,27	7,28	5,62	(ns) 6,37	(ns) 4,198	(s) 7,5	(s) 5,566
f	13800	3300	900	13,1	7,8	(ns) 11,71	(ns) 6,15	(s) 11,996	(s) 7,526
g	4160	3000	257,14	1,5	1,04	(ns) 1,51	(ns) 0,969	(s) 1,86	(s) 1,23
h	3300	1305	333,33	2,46	1,54	(ns) 1,97	(ns) 1,26	(s) 2,241	(s) 1,551
i	13800	10035	327,27	7,46	6,23	(ns) 6,36	(ns) 4,478	(s) 7,51	(ns) 6,24

Tab. 1: Vergleich von Messergebnissen mit analytischer und numerischer Berechnung

Tab. 1: Comparison between measurements and analytical and numerical calulation

Hocheffiziente Umrichter mit Siliziumkarbid-Halbleitern

von Dipl.-Ing. Thies Köneke

In diesem von der ECPE geförderten Projekt sollen die technischen sowie wirtschaftlichen Vorteile von Siliziumkarbidhalbleitern in Wechselrichtern mit Hilfe des entwickelten Auslegungstools HeCSiC nachgewiesen werden.
In die Software HeCSiC werden zunächst Daten der Halbleiter eingegeben, mit der eine Berechnung der Durchlass- und Schaltverluste ermöglicht wird. Anschließend wird ein durch freie Konvektion gekühlter Kühlkörper ausgelegt, der die Verluste der Halbleiter abführen kann.
Außerdem können zusätzliche Komponenten, wie ein LC-Ausgangsfilter, mit betrachtet werden. Mit HeCSiC können verschiedene Auslegungsparameter, wie Schaltfrequenz, Chipfläche, Sperrschichttemperatur, usw. bequem variiert werden. Kenngrößen, wie Verluste, Wirkungsgrad, Kühlkörpervolumen und Kosten, können in Diagrammen dargestellt werden (Abb. 1).
Aus diesen Diagrammen können die optimalen Auslegungsparameter bestimmt werden. Weiterhin können die Berechnungen und Diagramme für mehrere Halbleitertypen erstellt werden, so dass ein direkter Vergleich möglich ist. Das Beispiel in Abb. 1 zeigt, dass mit SiC-JFETs bei gleichem Kühlkörpervolumen deutlich höhere Leistungen erzielt werden können als mit Silizium-IGBTs.
Innerhalb dieses Projekts werden SiC-JFETs mit Silizium-IGBTs des neuesten Typs verglichen. Mit den SiC-JFETs wurden Schaltversuche durchgeführt, um die nötigen Daten zu extrahieren (Abb. 2).
Durch Variation der Auslegungsparameter und Betrachtung der Kosten für den Wechselrichter, wurden Applikationen gefunden, in denen der SiC-JFET auch wirtschaftliche Vorteile gegenüber dem Si-IGBT bietet.
Im nächsten Schritt wird ein Wechselrichter mit SiC-JFETs aufgebaut, um die Ergebnisse des Auslegungstools HeCSiC zu verifizieren und um zu zeigen, dass gekapselte Umrichter ohne Lüfter bei den angestrebten Leistungsniveaus möglich sind. Auslegungsziele für den Wechselrichter sind:

- Nennleistung 10kW,
- Schaltfrequenz 50kHz,
- max. Sperrschichttemperatur 175°C,
- Kühlkörpervolumen 4 Liter.

Highly Efficient Converters with Silicon-carbide Semiconductors

by Dipl.-Ing. Thies Köneke

Within this project funded by ECPE, the technical and economical benefits of silicon-carbide semiconductors in inverters are verified, making use of the design tool HeCSiC developed for this purpose.
After entering the data of the semiconductors, the conduction and switching losses for a certain inverter can be calculated. Then, the thermal path and a heat sink cooled by natural convection are dimensioned. Additional inverter components, like an LC output filter, may be added to the design.
Several design parameters, e.g. the switching frequency, the semiconductor chip area, the junction temperature, etc. can be varied easily. Characteristics, like semiconductor losses, inverter efficiency, heat sink volume, costs, etc. are plotted in diagrams (Fig. 1).
From these diagrams, the optimum design parameters can be derived. Furthermore, the calculation can be done for several semiconductor types. Thus, a direct comparison of the semiconductors is possible. The example indicated in Fig. 1 demonstrates that for a given heatsink volume, the rated power can be increased drastically when using SiC-JFETs.
In this project, SiC-JFETs are compared with the latest type of Si-IGBTs. In order to extract the necessary data for the HeCSiC tool, switching tests with the SiC-JFET were performed (Fig. 2).
By variation of the design parameters, some applications were identified, for which SiC-JFETs also have economical advantages compared to Si-IGBTs.
The next step is the design and construction of an inverter with SiC-JFETs, in order to verify the results from the HeCSiC tool and to demonstrate the feasibility of a compact encapsulated inverter without fans at this power level.

The design aims are:

- nominal power: 10kW,
- switching frequency 50kHz,
- max. junction temperature 175°C,
- heat sink volume: 4 liter.

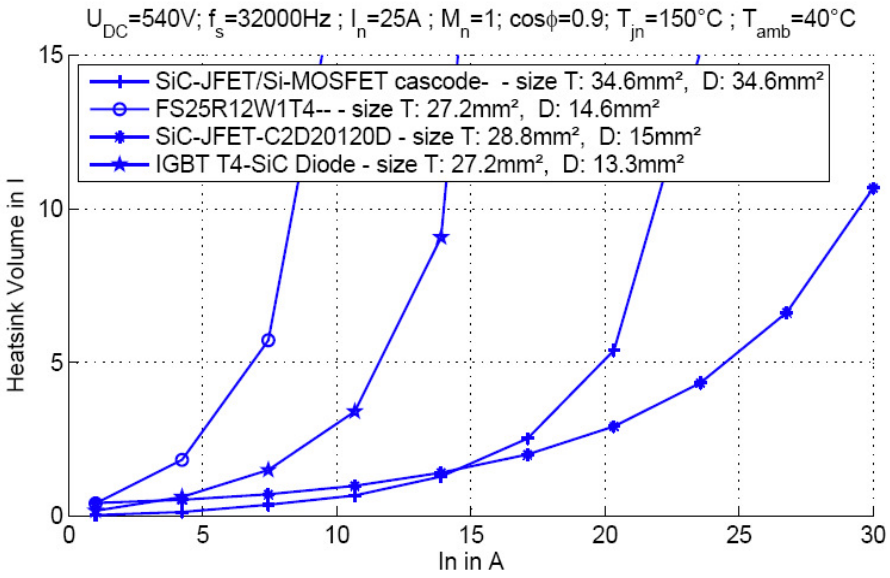


Abb. 1: Beispiel einer Ausgabe von HeCSiC

Fig. HeCSiC plot diagram

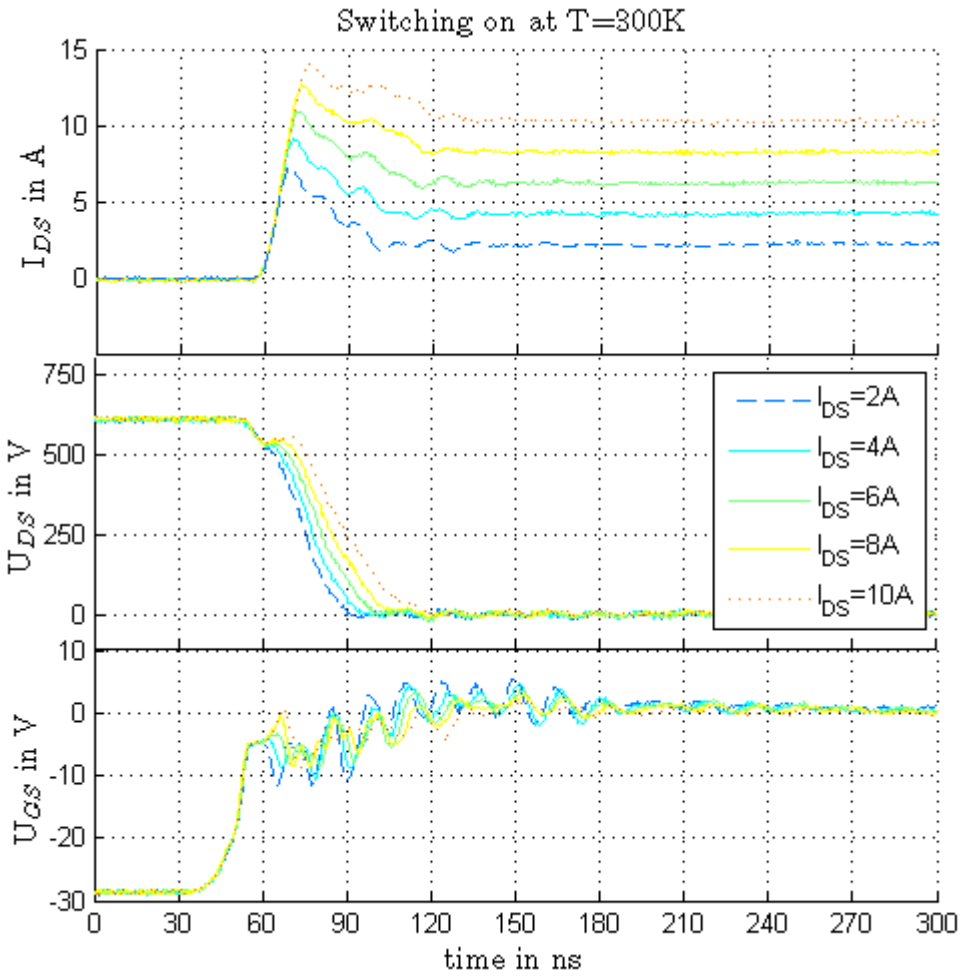


Abb. 2: Schaltvorgang eines SiC-JFETs

Fig. 2: Switching operation of a SiC-JFET

Entwicklung eines Radnabenmotors für ein Elektrofahrzeug

von Dipl.-Ing. Michael Gröninger

Der Übergang von Verbrennungs- auf Elektromotoren als Fahrzeugantriebe erlaubt die Realisierung völlig neuer Fahrzeugkonzepte. Besonders attraktiv ist dabei, aus Platz- und Performancegründen jedes Rad mit einem separaten Elektromotor anzutreiben.

Von der Fraunhofer Gesellschaft wurde dazu ein vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) gefördertes Verbundprojekt gestartet, in dem ein völlig neues Fahrzeugkonzept entwickelt werden soll. Im Rahmen dieses Projektes werden unter Mitwirkung des IAL Radnabenmotoren (RNM) ausgelegt.

Die Vorteile des Radnabenantriebs bestehen im Wegfall des klassischen Antriebsstranges mit Getriebe, Differential und Antriebswellen, was den Bauraum, die Massen und die Reibungsverluste verringert und eine Reduzierung der Verschleißteile und des Wartungsaufwands im Fahrzeug bewirkt. Der eingesparte Bauraum kann zur Unterbringung der Batterie oder als Stauraum genutzt werden.

Die Probleme beim Einsatz von RNMs sind u. a., dass die Räder Schmutzwasser und anderen Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. Wird die Leistungselektronik ebenfalls in das Rad integriert, muss sie neben den Umwelteinflüssen auch den mechanischen Belastungen, z. B. auf unebener Fahrbahn, standhalten. Aus diesem Grund müssen Radnabenmotoren gekapselt ausgeführt werden, was die Kühlung bestimmter Maschinenkomponenten erschwert. Da sich der RNM im ungefederten Fahrzeugbereich befindet, können bei zu hoher Masse der Räder die Fahreigenschaften erheblich verschlechtert werden.

Da das Verhältnis zwischen Drehmoment und Masse unter Einhaltung der geometrischen Randbedingungen maximiert werden soll, kommt für den RNM ein hochausgenutzter permanentmagneterregter Synchronmotor mit Außenläufer zum Einsatz (Abb. 1).

In-wheel Motors Designed for Electric Vehicles

by Dipl.-Ing. Michael Gröninger

The use of electric motors as vehicle drives instead of internal combustion engines enables entirely new vehicle concepts. Saving space and reaching higher performances can effectively be realised by driving each wheel with a separate electric motor.

In this context, the Fraunhofer Gesellschaft has launched a joint research project funded by BMBF (Federal Ministry of Education and Research), with the aim to develop a completely new vehicle concept. The IAL participates in this project by developing the design of a novel in-wheel motor.

An advantage of in-wheel motors is that the classical power train consisting of transmission, differential and drive shafts can be abandoned. This reduces the installation space, mass and frictional losses as well as the number of parts that are subject to wear and the maintenance efforts arising in a vehicle. The space saved in this way can be used to store the battery or other parts.

Problems of in-wheel motors are among others that wheels are exposed to dust, water and other environmental influences. If power electronics is integrated in the wheels, too, it must also cope with mechanical stress, e.g. due to poor road conditions. For this reason, in-wheel motors must be encapsulated, making the cooling of certain machine components difficult. Since in-wheel motors are located in the unsprung area of a vehicle, the driving performance may be considerably deteriorated, if the mass of the wheels is too high.

Considering the geometrical conditions, the ratio of torque and mass shall be maximised. For this reason, a permanent magnet synchronous motor with external rotor and maximum utilisation is applied (Fig. 1).

Abb. 2: Schematische Ansicht des Rades mit innenliegendem Radnabenmotor

Fig. 2: Schematical view of the wheel with in-wheel motor

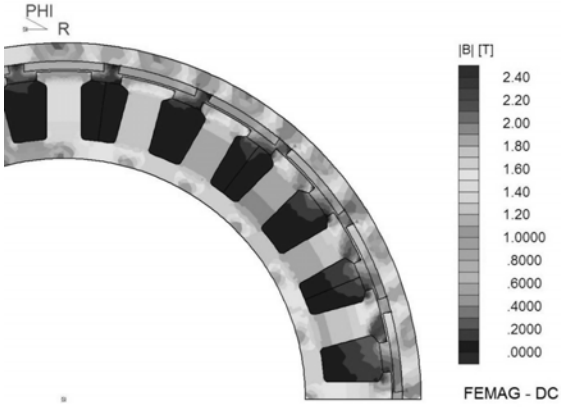


Abb. 1: Induktionsverteilung des RNM

Fig. 1: Flux density distribution of the in-wheel motor

The synchronous motor is designed with tooth-wound coils in the stator winding to keep the axial length of the end winding short. For redundancy reasons, a six-phase winding was chosen, each of three phases being fed by one of two independent converters. In the case of a malfunction, the three phases of the defect converter are short-circuited, so that the motor can be operated by the other three phases. Another advantage of tooth-wound coils is that the two three-phase systems are magnetically decoupled, compared to distributed windings. The braking torque of the short-circuited winding is thus relatively small.

On the one hand, efficiency characteristics have been determined for the motors and converters, in order to evaluate the energy performance of the overall system. On the other hand, a dynamic machine model has been developed, and its parameters including their frequency dependency have been identified by means of an FEM model. Additional analytical examinations are needed to predict magnetic noise and to elaborate measures, in order to minimise the latter and to predetermine and optimise further parasitic effects like torque ripple, bearing voltages or currents.

During the complex concept, design and optimisation phase, Fraunhofer IFAM (Institute for Manufacturing Technology and Applied Materials Research) could successfully re-prove its competences in the fields of construction, materials and manufacturing methods. The in-wheel motor (Fig. 2) is being manufactured and tested at IFAM.

Der Synchronmotor wird mit einer Zahnspulenwicklung ausgeführt, damit die axiale Länge des Wickelkopfs kurz gehalten wird. Um eine Redundanz zu gewährleisten, wird der Motor sechssträngig ausgeführt, wobei jeweils drei Stränge aus einem von zwei unabhängigen Umrichtern gespeist werden. Im Fehlerfall werden die drei Stränge des fehlerhaften Umrichters kurzgeschlossen, sodass der Motor 3-strängig weiterbetrieben werden kann. Hier kommt ein weiterer Vorteil der Zahnspulenwicklung zum Tragen, da die zwei 3-strängigen Systeme im Vergleich zur verteilten Wicklung magnetisch hinreichend entkoppelt sind. Das Bremsmoment der kurzgeschlossenen Wicklung fällt dadurch relativ gering aus.

Für die Motoren und Wechselrichter werden einerseits Wirkungsgradkennfelder zur energetischen Beurteilung des Gesamtsystems ermittelt, und andererseits wird ein dynamisches Maschinenmodell aufgebaut und dessen Parameter einschließlich ihrer Frequenzabhängigkeit mit Hilfe eines FEM-Modells identifiziert. Zusätzliche analytische Untersuchungen sind zur Vorausberechnung der Magnetgeräusche und zur Erarbeitung von Maßnahmen zu deren Minimierung erforderlich sowie zur Vorausberechnung und Optimierung weiterer Parasitäreffekte wie Drehmomentpendelungen oder Lagerströmen bzw. Lagerspannungen.

Nach der aufwendigen Konzept-, Entwurfs- und Optimierungsphase, bei der das Fraunhofer IFAM (Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung) seine Kompetenzen zu Konstruktion, Werkstoffen und Fertigungsverfahren ausspielen konnte, wird der Radnabenmotor (Abb. 2) nun im IFAM hergestellt und geprüft.

Zweistufiger, phasenversetzter DC/DC-Wandler für die Anbindung einer 5 kW el. SOFC an einen 750 V DC-Zwischenkreis

von Dr.-Ing. Andreas Averberg

Das hier beschriebene Projekt wurde am IAL gemeinsam mit einem Industriepartner und dem IEE der TU Clausthal im Rahmen der Landesinitiative Brennstoffzelle durchgeführt.

Aufgrund ihrer hohen Betriebstemperaturen von 650°C bis 1000°C ist die oxidkeramische Brennstoffzelle (SOFC) besonders für den Einsatz in Kraft-Wärme-gekoppelten Systemen geeignet. Gegenstand dieses Projektes ist eine SOFC mit 6 kW thermischer und 5 kW elektrischer Leistung, welche als Klein-KWK-Anlage in Mehrfamilienhäusern oder Kleinbetrieben eingesetzt werden soll. Die elektrische Leistung wird dabei dreiphasig ins öffentliche Netz eingespeist. Am IAL wurde der Gleichspannungswandler entwickelt, welcher die Verbindung zwischen der Brennstoffzelle mit einer Ausgangsspannung zwischen 50 V und 70 V und dem geregeltem 750 V Zwischenkreis herstellt. Hierfür wurde ein zweistufiges Konzept verfolgt. Die erste Stufe besteht aus zwei phasenversetzt betriebenen Hochsetzstellern (IBC), welche die lastabhängige Brennstoffzellenspannung auf einen konstanten Wert von 140 V wandeln. Aufgrund des phasenversetzten Betriebs kann im Vergleich zu herkömmlichen Hochsetzstellern der Wechselanteil im Eingangsstrom des Wandlers und somit der Filteraufwand für die Brennstoffzelle deutlich reduziert werden. Abb. 1 zeigt die Stromverläufe $i_{L,\mathrm{in},1}$ und $i_{L,\mathrm{in},2}$ sowohl in den beiden Einzel-Hochsetzstellern als auch den Gesamtstrom $i_{L,\mathrm{in}}$ am Eingang des Wandlers, welcher sich durch Addition ergibt. Die Regelung der Ausgangsspannung ist durch eine Kaskadenregelung realisiert, die symmetrische Stromaufteilung wird durch getrennte Stromregler für beide Wandler erreicht.

Aufgrund der relativ hohen Eingangsströme wurde ein besonderes Augenmerk auf eine geeignete Aufbau- und Verbindungstechnik gelegt. Weiterhin wurden je zwei MOSFETs und Dioden in den Hochsetzstellern parallel geschaltet. Durch einen streng symmetrischen Aufbau der Zuleitungen und der Gate-Ansteuerung konnte auch

Two-stage Interleaved Power Conditioner for Connecting a 5 kW El. SOFC with a 750 V DC Link

by Dr.-Ing. Andreas Averberg

The project was realised at IAL in cooperation with an industry partner and IEE of TU Clausthal within the scope of the Landesinitiative Brennstoffzelle Niedersachsen (State's Initiative Fuel Cell Lower Saxony).

Due to their high operating temperatures of 650°C to 1000°C, solid oxide fuel cells (SOFC) are especially suitable for use in combined heat and power systems. Subject of this project is a SOFC with 6 kW thermal and 5 kW electrical power to be used as small-sized combined heat and power plant (CHP) in multistorey dwellings or small companies. The electrical power is fed in three phases into the public mains. The IAL developed the power conditioner which connects the SOFC with an output voltage of 50 V to 70 V with the controlled 750 V DC link, which was realised with a two-stage concept. The first stage consists of two interleaved boost converters (IBC) converting the load-dependent fuel cell voltage to a constant value of 140 V. Due to its interleaved operation, the input current ripple of the converter and herewith the filtering for the fuel cell can be reduced drastically, compared to conventional boost converters. Fig. 1 shows the waveforms $i_{L,\mathrm{in},1}$ and $i_{L,\mathrm{in},2}$ for the two single boost converters as well as the overall current $i_{L,\mathrm{in}}$ at the converter input, which is the sum of the two. The output voltage is controlled by an outer voltage control loop, whereas the current is symmetrically distributed for both converters by means of separate inner controls.

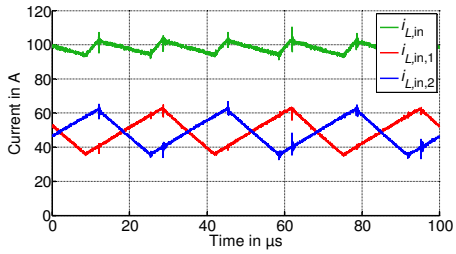


Abb. 1: Experimentell bestimmte Stromverläufe in den phasenversetzt betriebenen Hochsetzstellern

Fig 1: Measured waveforms of the interleaved boost converter's currents

Relatively high input currents required suitable packaging and layout methods. Further on, two MOSFETs and diodes respectively were connected in parallel in the boost converters. Due to the strictly symmetrical design of the supplies and the gate drive, a symmetrical current distribution in the parallel components could be reached in the boost converters, and this for the steady-state as well as for the transient performance.

The second stage of the power conditioner is a series resonant converter (SRC). A capacitor arranged in series to the leakage inductance of the transformer generates an oscillating circuit. If the switching frequency is near the resonance frequency for a determined phase control factor, the switching losses of the series resonant converter can be kept to a minimum. This method is possible, because all control actions are already managed in the first stage, so that the series resonant converter can be operated at its optimum operating point. As can be seen in Fig. 2, a very high efficiency could be reached for the series resonant converter as well as for the overall system. The measured efficiencies are indicated by crosses, the solid lines represent the analytical calculation results. Fig. 3 shows the prototype of the power conditioner.

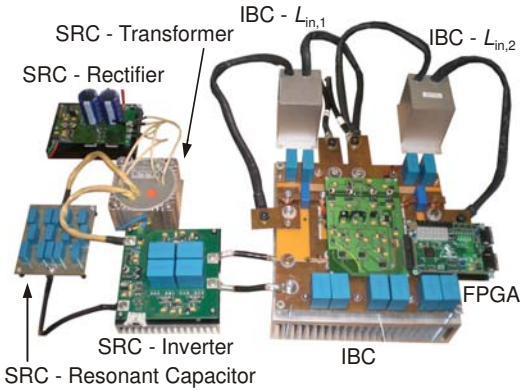


Abb. 3: Laboraufbau des DC/DC-Wandlers

Fig. 3: Prototype of the power conditioner

innerhalb der Hochsetzsteller eine symmetrische

Aufteilung der Ströme auf die parallel geschalteten Bauelemente sowohl im transienten als auch im stationären Betrieb erreicht werden.

Die zweite Stufe des Gleichspannungwandlers bildet ein Serienresonanzwandler (SRC). Durch einen in Reihe zur Streuinduktivität des Transformators angeordneten Kondensator wird ein Schwingkreis erzeugt. Wird die Schaltfrequenz bei einem fest vorgegebenen Aussteuergrad in die Nähe der Resonanzfrequenz gelegt, so kann der Serienresonanzwandler nahezu ohne Schaltverluste betrieben werden. Dieses Verfahren wird möglich, da sämtliche Regelungsaufgaben schon von der ersten Stufe übernommen werden und der Serienresonanzwandler dadurch stets im optimalen Punkt betrieben werden kann. Hierdurch wurde ein sehr hoher Wirkungsgrad sowohl des Serienresonanzwandlers als auch des Gesamtsystems erreicht, wie Abb. 2 zeigt.

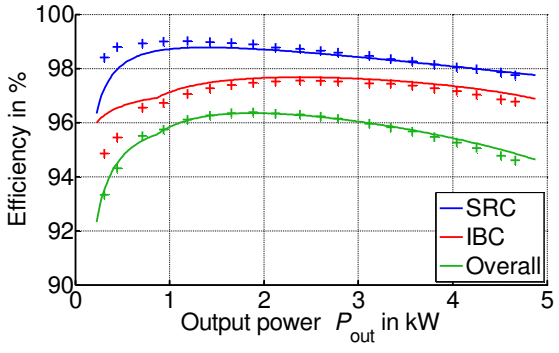


Abb. 2: Experimentell bestimmter und berechneter Wirkungsgrad von Serienresonanzwandler (SRC), phasenversetztem Hochsetzsteller (IBC) sowie des Gesamtsystems (Overall)

Fig. 2: Measured and calculated efficiency of the series resonant converter (SRC), interleaved boost converter (IBC) and the overall system (Overall)

Die gemessenen Wirkungsgrade sind dabei durch Kreuze markiert, die durchgezogenen Linien stellen die Ergebnisse einer analytischen Vorausberechnung des Wirkungsgrades dar. Abb. 3 zeigt ein Foto vom Laboraufbau des Prototypen.

Mittelspannungsumrichter als Netzstromrichter

von Dipl.-Ing. Robert Meyer

In den letzten Jahren haben dezentrale Energiequellen wie Windenergieanlagen, PV-Anlagen oder Biogasanlagen immer mehr an Bedeutung gewonnen. Durch die stetig wachsende Leistung solcher Erzeuger ist es nicht wirtschaftlich, deren Energie, so wie es bei Anlagen kleinerer Leistung üblich ist, in das Niederspannungsnetz einzuspeisen.

Aus diesem Grund wird die Energie von größeren Erzeugungsanlagen direkt in das Mittelspannungsnetz eingespeist. Dafür können prinzipiell rückspeisefähige Antriebsumrichter, die schon seit geraumer Zeit zum Stand der Technik gehören, verwendet werden.

Die Konzepte für rückspeisefähige Antriebsumrichter sehen allerdings vor, dass diese an einem Industrienetz betrieben werden. Dort gelten relativ großzügige Grenzwerte bezüglich der Spannungsqualität. Außerdem wird die gewonnene Energie direkt von anderen Verbrauchern innerhalb des Netzes verbraucht. Eine Rückspeisung über den Netzanschlusspunkt (PCC = Point of Common Coupling) hinaus in das öffentliche Netz findet nicht statt. Werden Erzeugungsanlagen hingegen direkt an das Mittelspannungsnetz angeschlossen, gelten die „Technischen Richtlinien für Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ des BDEW.

Im Zuge eines Industrieprojektes wird am IAL untersucht, wie vorhandene Konzepte für rückspeisefähige Antriebsumrichter erweitert werden können, damit mit diesen eine direkte Netzeinspeisung von dezentralen Energiequellen in das Mittelspannungsnetz, unter Berücksichtigung der Vorgaben der Netzbetreiber, möglich wird.

Dabei geht es vor allem um die Einhaltung der Grenzwerte für die Spannungsharmonischen und um das Verhalten des Umrichters bei kurzzeitigen Einbrüchen der Netzspannung.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen 3-Punkt-NPC-Umrichter mit niedriger Schaltfrequenz. Die niedrige Schaltfrequenz wird verwendet, damit die Schaltverluste des Umrichters minimiert werden. Daraus resultieren allerdings relativ stark ausgeprägte Harmonische im Spektrum der Umrichterausgangsspannung.

Medium-voltage Converters Used as Rectifiers

by Dipl.-Ing. Robert Meyer

During the last years, decentralised power sources like wind turbines, photovoltaic power stations or biogas plants have become more and more important. In the past, their power level has increased more and more, and it is not efficient any more to feed this energy into the low-voltage grid, as is common for low-power plants.

For this reason, larger power providers feed their energy directly into the medium-voltage grid. In principle, this can be done using active drive converters which are state-of-the-art PWM line side converters for a fairly long time.

Such converters are, however, designed to be connected to industrial grids, having relatively ample limits with respect to voltage quality. In addition, recovered energy is directly consumed by other loads connected to the grid. Energy recovery beyond the PCC (Point of Common Coupling) into the public mains does not take place. But if power plants are directly connected to the medium-voltage grid, the technical guidelines for power plants of the German Federal Association for Energy and Water Management (BDEW) apply.

Within the scope of an industry project, the IAL investigates on how existing concepts for line side converters can be enhanced, so that they are suitable for direct supply of decentralised power sources into the medium-voltage grid, considering the standards of the utility companies.

Main issues are above all the limits for voltage harmonics as well as the converter performance in case of short-term line voltage dips.

The investigations focus on three-level NPC converters with low switching frequency. A low switching frequency is used to minimise the switching losses of the converter. This, however, leads to quite distinct harmonics in the output voltage spectrum of the converter.

To reduce these harmonics, several types of filters were investigated and evaluated in this project. In addition, we developed a method to optimise the filter parameters based on specific limiting conditions.

The second part of this project focuses on the converter control. The utility companies' standards require that converters remain connected to the mains in case of short-term voltage dips to maintain the short-circuit current and the mains stability. Boundary line 1 in Fig. 1 shows the line voltage characteristic, at which the converter has to remain definitely connected to the mains. For values between line 1 and 2, the short-circuit current trajectory can be agreed upon with the utility company.

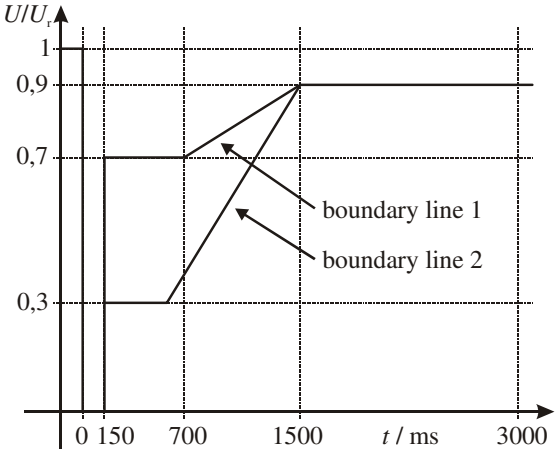


Abb. 1: Grenzlinien für den Spannungsverlauf am PCC

Fig. 1:Boundary lines for voltage trajectory at PCC

The goal of this project is to develop control strategies which allow to handle such error conditions.

Another feature of 3-level NPC converters is that the neutral-point voltage of the DC link is displaced by dynamic processes. This results in an unbalanced load of the semiconductors and an unsymmetrical output voltage. Another project at IAL therefore deals with the development of new control strategies to improve the symmetry of the neutral-point voltage.

Zur Reduzierung dieser Harmonischen wurden im Zuge dieses Projektes mehrere Filtervarianten untersucht und bewertet. Außerdem wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem eine Optimierung der Filterparameter unter Berücksichtigung diverser Randbedingungen möglich ist.

Im zweiten Teil des Projektes steht die Regelung des Umrichters im Mittelpunkt. Aus den Vorgaben der Netzbetreiber geht hervor, dass der Umrichter bei kurzzeitigen Spannungseinbrüchen weiterhin am Netz bleiben muss, um so einen Beitrag zum Kurzschlussstrom und zur Netzstabilität zu leisten. Grenzlinie 1 in Abb. 1 zeigt den Verlauf der Netzspannung, bei der der Umrichter in jedem Fall weiterhin am Netz bleiben muss. Bei Spannungsverläufen zwischen den Grenzlinien 1 und 2 kann der Verlauf des Kurzschlussstroms mit dem Netzbetreiber abgestimmt werden.

Die Aufgabe innerhalb dieses Projekts besteht darin, Regelungsstrategien zu entwickeln, mit denen ein Durchfahren des dargestellten Fehlers möglich wird.

Eine weitere Eigenschaft von 3-Punkt-NPC-Umrichtern ist, dass die Mittelpunktspannung des Zwischenkreises durch dynamische Vorgänge verschoben wird. Daraus resultieren eine ungleichmäßige Belastung der Halbleiter und eine unsymmetrische Ausgangsspannung. In einem weiteren Projekt am IAL werden daher neue Regelungsstrategien entwickelt, mit denen die Symmetrie der Mittelpunktspannung verbessert werden kann.

Neues in und von ASYN

von Dipl.-Ing. Jan-Peter Jastrzembski

ASYN ist ein analytisches Rechenprogramm, das das stationäre Betriebsverhalten von Asynchronmaschinen (Käfig- und Schleifringläufer) berechnet. Seit über 25 Jahren wird es erfolgreich auch bei weltweit operierenden Unternehmen eingesetzt. Nicht zuletzt diese Tatsache ist der Grund für die fortwährende Weiterentwicklung des Programms, welches mittlerweile in der Version 6.0 erhältlich ist.
Sowohl inhaltlich als auch optisch wurden einige Neuerungen eingeführt. Die neue grafische Oberfläche (Abb. 1), die von unserem österreichischen Partner Austrian Institute of Technology (AIT) erstellt wurde, bietet die Möglichkeit der zweisprachigen Eingabe (Deutsch und Englisch). Ein Projekt-Baum, der im linken Teil der Oberfläche angeordnet ist, bietet umfangreiche Möglichkeiten, die eigenen Projekte zu organisieren. Auf drei Ebenen können so Rechnungen (z. B. nach Bauhöhen oder Varianten) strukturiert werden.
Die farblich hinterlegten Eingabefelder sollen den Anwender bei der Anwendung des Programms unterstützen. Rot hinterlegte Felder deuten auf zwingend notwendige Eingaben hin, während blau gefärbte Eingabefelder darauf hinweisen, dass ASYN die nötigen Größen auch selbst intern berechnen kann. Gelbe Eingabefelder signalisieren, dass für die Berechnung auch einige im Allgemeinen passende Erfahrungswerte verfügbar sind.
Weiterhin kann die Dimension der Einheit bei der Eingabe vorgegeben und dauerhaft fixiert werden. So kann z.B. der Wert für die Bemessungsleistung entweder in W oder kW eingegeben werden. Die Übergabe an ASYN erfolgt hingegen einheitlich in SI-Einheiten.
Aufgrund der vielfältigen Weiterverarbeitungsmöglichkeiten wurde sowohl die Eingabe als auch die Ausgabe von ASYN mit einer XML-basierten Struktur erweitert. Dadurch wird es auf einfache Weise möglich, z. B. mittels MS Excel, eigene Protokolle zu erstellen oder Daten für Dokumentations- oder Fertigungszwecke zu übernehmen.
Die grafische Ausgabe der Betriebskennlinien wurde überarbeitet und erfolgt nun im Postscript-Format und - sofern ein gültiges Konvertierungsprogramm vorhanden ist - auch als PDF-Datei.
Den Rechnungsoptionen wurde die Berechnung der Einhüllenden des Kippmoments bei Umrichterbetrieb hinzugefügt. Dafür wird eine U/f-Kennlinie berücksichtigt, die anhand charakteris-

Novelties around ASYN

by Dipl.-Ing. Jan-Peter Jastrzembski

ASYN is an analytical calculation software to determine the steady-state performance of induction machines (cage and slip-ring rotor). For more than 25 years, it has been successfully used in world-wide operating companies. This is one of the reasons for its continuous further development. Meanwhile, the 6.0 version is available.
Its contents as well as its visual appearance was revised lately. The new graphical user interface (Fig. 1) was developed by our partner Austrian Institute of Technology (AIT), now supporting besides German also English language. The project tree located on the left side of the interface offers various possibilities to organise your own projects. Calculations can be structured on three levels (e.g. according to frame size or variants).
The input fields are highlighted in colour, thus fascilitating the program application. Red fields symbolise mandatory inputs, blue fields mean that ASYN can calculate the necessary parameters internally. Yellow fields indicate that some generally fitting experience data are available for the calculation.
Moreover, the unit dimensions can be preset and permanently fixed, when entering the data. The value for rated power can e.g. be entered in W or in kW. The transfer to ASYN, however, is always in SI units.
Due to the large number of variations, the input as well as the output of ASYN was enhanced by a XML-based structure. This allows in an easy way, e.g. via Excel, to display own protocols or to transfer data for documentation or manufacturing purposes into user-defined templates.
The graphical display of the performance characteristics was revised and is now done in Postscript format and as PDF file – provided that a valid conversion program is available.
The calculation options were extended by the calculation of the envelope of the breakdown torque in case of converter supply. This is realised by considering a U/f characteristic, specified by characteristic parameters.
Further on, the additional losses depending on the rated power are calculated in three steps according to the newest edition of IEC 60034-2-1.
Based on the geometrical and winding data, ASYN estimates now also the mass moment

of inertia of the rotor core (without shaft).

The winding input data were enhanced, so that ASYN now considers parameters, like the number of parallel branches, the real number of conductors per, the number of parallel strands, round wire and profiled wire dimensions. Round wire windings can e.g. consist of up to three different wire diameters.

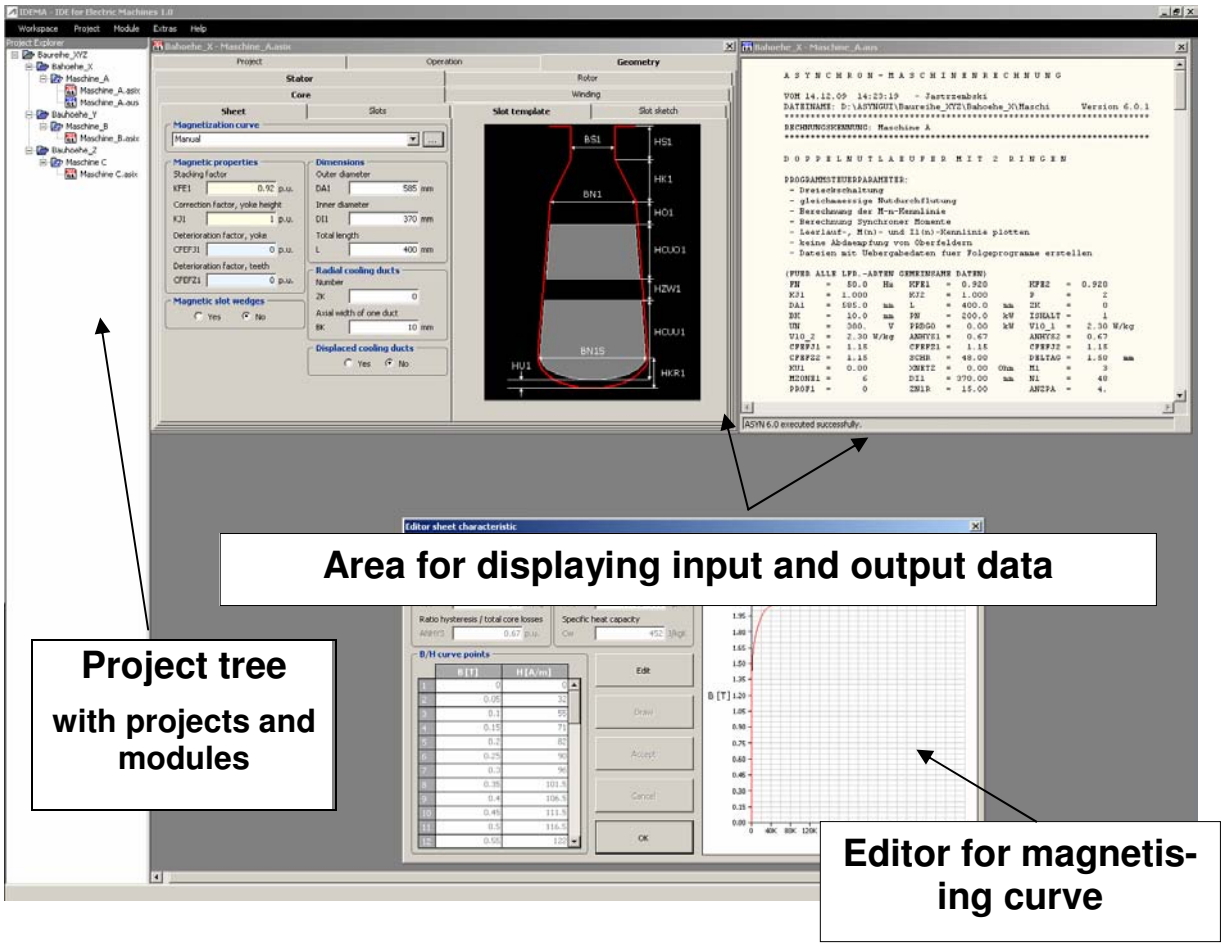
For the near future, it is planned to calculate doubly-fed machines as well as to realise numerical magnetic circuit analysis in the background via FEMAG.

tischer Größen vorgegeben wird.
Weiterhin werden die Zusatzverluste nach EN 60034-2-1 in Abhängigkeit von der Bemessungsleistung in drei Stufen berechnet.

Aus den Geometrie- und Wicklungsdaten errechnet ASYN das Massenträgheitsmoment des Läuferblechpakets (ohne Welle).

Die Eingabedaten für die Wicklung wurden so erweitert, dass ASYN sämtliche Parameter wie die Anzahl paralleler Zweige, reale Leiterzahl je Nut, Anzahl paralleler Teilleiter, Rund- und Profildrahtabmessungen berücksichtigt. Dabei kann die Runddrahtwicklung aus bis zu drei verschiedenen Drahtdurchmessern bestehen.

Für die nahe Zukunft ist die Berechung doppelt gespeister Maschinen vorgesehen sowie die Möglichkeit Magnetkreisrechnungen automatisch im Hintergrund mit FEM-Unterstützung durch FEMAG durchzuführen.



Neues in und von FEMAG

von Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

FEMAG ist ein numerisches Programm zur Lösung elektromagnetischer Feldberechnungen für den Elektromaschinenbau. Die weite Verbreitung dieser Software bei Herstellern elektrischer Maschinen ist sicher darin begründet, dass die Entwicklung des Programms konsequent auf die Erfordernisse der Anwender ausgerichtet ist, die Weiterentwicklung durch die Kenntnis um die Funktionsweise elektrischer Maschinen flankiert wird und deshalb eine auf die Bedürfnisse der Entwickler zugeschnittene Analyse der Berechnungsergebnisse erfolgt. So ist im Laufe vieler Jahre vornehmlich durch den unermüdlichen Einsatz von Prof. Reichert ein sehr effektives, schnelles und zuverlässiges Werkzeug zur Berechnung jeder Art von elektrischen Maschinen entstanden.
Auf den FEMAG-Anwendertreffen der letzten beiden Jahre, an denen jeweils etwa 90 Ingenieure aus zahlreichen Firmen und Hochschulen teilnahmen, wurden neben Anwendungsbeispielen die aktuellen Neuigkeiten vorgestellt, aber auch die Pläne zur zukünftigen Weiterentwicklung vor- bzw. zur Diskussion gestellt. Das Anwendertreffen im Jahr 2008 hatte die Modellierung und Berechnung von permanenterregten Maschinen als Schwerpunktthema. 2009 lag der Fokus auf der Automatisierung der Berechnung.
Ein wiederkehrendes Thema ist die Modellierung magnetischer Werkstoffe mit dem Magnetisierungs- und zunehmend dem Verlustverhalten unter realen Einsatzbedingungen. So ist eine genaue Kenntnis der Magnetisierungskennlinie im Sättigungsbereich für die Berechnung von Maschinen mit eingebetteten Magneten ebenso wichtig wie für die Berechnung von Induktionsmaschinen. Aufgrund der zentralen Bedeutung der Materialkennwerte wurde die Handhabung in FEMAG um das direkte Einlesen der originalen Messwerte aus dem frei verfügbaren Materialexplorer von ThyssenKrupp, einer Extrapolation des Verlaufes der Sättigungspolarisation nach Fröhlich-Kennelly und die Bestimmung der Verlustbeiwerte erweitert. So können jetzt die individuellen Verlustbeiwerte jedes Maschinenteils berücksichtigt werden. Die MC-Dateien wurden um diese Daten zur vollständigen Materialbeschreibung erweitert, wobei die bisherigen Kennlinien ohne diese Daten weiterverwendet werden können.
Neben der regelmäßigen Erweiterung der CAD-Parametermodelle wurde unter anderem an der

Novelties around FEMAG

by Dr.-Ing. Jörn Steinbrink

FEMAG is a numerical program used to analyse electromagnetical field problems in electrical machines. The software has gained a wide acceptance among manufacturers and users, as its development is consequently focused on the users' requirements in the field of machine analysis. Thanks to the persistent work of Prof. Reichert, FEMAG has become over the years a very effective, fast and reliable tool for analysing any kind of electrical machines.

On the occasion of the last two FEMAG user meetings, each with participants of about 90 engineers from industry and research, application examples, the latest novelties as well as ideas for further developments were presented and discussed by the audience. The user meeting in 2008 mainly dealt with the modelling and calculation of permanent magnet machines, whereas the user meeting in 2009 focused on automated calculation.

A recurrent topic is the modelling of magnetic materials and the magnetisation and loss performance under real application conditions. A precise knowledge of the magnetisation characteristics in the saturation range for machines with embedded magnets is as important as it is for the calculation of induction machines. Due to the decisive importance of the material parameters, the FEMAG software was enhanced by the possibility to enter directly the original test results from the freely disposable material explorer of ThyssenKrupp, an extrapolation of the saturation polarisation curve according to Fröhlich-Kennelly and by the determination of the loss coefficients. Now it is possible to consider the individual loss coefficients of each machine part. For a complete material desciption, the MC files were enhanced by these data, keeping the compatibility to the previous data format.

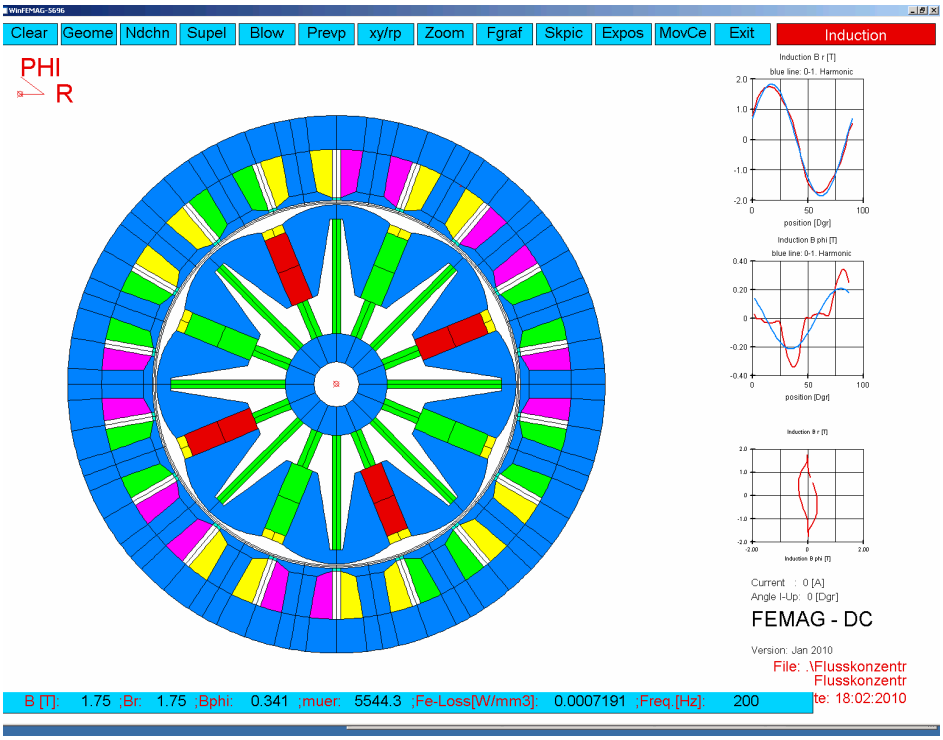
Besides the constant enhancement of the CAD parameter models, developments focused on grid generation in general, mixed grid generation of 1st and 2nd order, online demagnetisation of the machine parameter identification and fast calculations. During analysis, the flux distribution of each finite element can be determined, being the basis for further evaluations, as for example loss distribution. Another vital innovation is the

introduction of a new script language. Besides the automation via LOG files available since the end of the 80ies, users now benefit from a complex, easy programmable and version-independent approach for an interactive remote control of FEMAG. With this, FEMAG as calculation tool is easily accessible out of other programs, e.g. it can easily be combined with other analytical programs (refer also to “Novelties around ASYN”).

During the last year, FEMAG-TS, the transient version of FEMAG, was further developed (refer to “Slot Variations in Induction Machines”). This version allows the analysis of dynamic processes taking place in rotating machines. A connection to an electric grid is under preparation, with the aim to simulate the drive system including its power electronics part.

Last but not least, the development and application of FEMAG, also realised with the support of many students, can be seen as an important contribution in offering modern education prospects to young academics.

Netzgenerierung allgemein, der gemischten Netzgenerierung 1. und 2. Ordnung, der Online-Entmagnetisierung, der Maschinenparameter-Identifikation und den Schnell-Berechnungen gearbeitet. In der Analyse können u. a. der Induktionsverlauf jedes finiten Elementes dargestellt und darauf basierend weitere Auswertungen, wie die Bestimmung der Verlustverteilung, vorgenommen werden. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass nun eine neue Scriptsprache in weiten Teilen einsatzbereit ist. Somit steht dem Anwender jetzt neben der schon seit Ende der 80er Jahre verfügbaren Automatisierung über LOG-Files ein komplexer, leicht programmierbarer und versionsunabhängiger Weg für eine interaktionsfreie Ablaufsteuerung von FEMAG zur Verfügung. Dadurch kann FEMAG aus anderen Programmen besser als zuvor als Rechenwerkzeug aufgerufen werden, und es wird in einfacher Weise eine Kombination mit analytischen Programmen ermöglicht (vgl. Beitrag „Neues in und von ASYN“).
Im letzten Jahr wurde zudem an der Entwicklung von FEMAG-TS, der transienten Version von FEMAG gearbeitet (vgl. Beitrag „Nutvariation bei Induktionsmaschinen“). Hiermit wird eine Version zur Verfügung stehen, um dynamische Vorgänge bewegter Maschinen berechnen zu können. Vorbereitet wird eine Anbindung an ein elektrisches Netzwerk, um das Antriebssystem inklusive der Leistungselektronik simulieren zu können.
Und nicht zuletzt leistet die Entwicklung und Anwendung von FEMAG unter studentischer Mithilfe auch einen Beitrag zur zeitgemäßen Ausbildung des akademischen Nachwuchses.



Lehrveranstaltungen

Die größten Änderungen bei den Lehrveranstaltungen des IAL wurden durch die Gründung der Niedersächsischen Technischen Hochschule (NTH) initiiert, allerdings auf andere Weise als gedacht: Durch die aktuelle Konstellation innerhalb der NTH wird seit über einem Jahr die Wiederbesetzung von Professuren der Fakultät blockiert, so dass Prof. Mertens für den in den Ruhestand getretenen Regelungstechnik-Kollegen Gerth seit dem WS 09/10 die Vorlesung *Datenverarbeitungssysteme* hält. Zur Entlastung von Prof. Mertens übernimmt Prof. Ponick ab dem SS 2010 die Hälfte der Vorlesung *Elektrische Antriebstechnik II*.

Seit dem WS 07/08 wird die Drittsemestervorlesung *Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung* durch eine Gruppenübung ergänzt, die auch praktische Übungen beinhaltet: So müssen die Studierenden u. a. in kleinen Gruppen einen Drehstromständer wahlweise mit einer zweipoligen und einer vierpoligen Wicklung versehen, um damit dann eine handelsübliche (aber mit einer Welle versehene) Getränkedose auf nahezu synchrone Drehzahl zu beschleunigen. Das Konzept zur Gruppenübung wurde maßgeblich von zwei Lehramtsstudierenden gemeinsam mit Frau Stübig entwickelt, die dafür mit dem ersten Preis für exzellente Lehre der Leibniz-Universität ausgezeichnet wurde. Diese praktischen Elemente werden auch in der Übung zur *Elektrischen Antriebstechnik II* eingesetzt.

Neu entstanden ist die Vorlesung *Modellierung von elektromechanischen Mikrosystemen*, die Dr. Steinbrink seit dem SS 2008 gemeinsam mit Prof. Mathis hält und die sich vor allem an Mechatronik-Studierende wendet.

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. Einzelne Versuche werden auch im Rahmen eines speziell für Mechatronikstudierende konzipierten institutsübergreifenden Laboratoriums genutzt.

Lectures

The foundation of the Niedersächsische Technische Hochschule (NTH, Technical University of Lower Saxony) had the most profound impact on our curriculum, however not as expected: Due to the present constellation within the NTH, vacant professorships in our faculty could not and still cannot be filled again for more than one year. As a consequence, in winter term 09/10, Prof. Mertens took over the lecture *Data Processing Systems* from his retired colleague Prof. Gerth, Institute of Automatic Control. To relieve Prof. Mertens, Prof. Ponick will take over half of the lecture *Electric Drives II* in summer term 2010.

In winter term 07/08, a group exercise was added to the lecture *Basics of Electromagnetical Power Conversion* targeted at 3rd term students, introducing practical exercises, e.g. a three-phase stator must be equipped by the students either with a two- or a four-pole winding, in order to accelerate a standard beverage can (provided with a shaft) to nearly synchronous speed. The concept for this group exercise was significantly developed by two students of teacher training together with our research associate Cornelia Stübig, who was awarded the Prize for Excellent Teaching, assigned by the Leibniz Universität Hannover for the first time. These practical elements are also used in the exercise of *Electric Drives II*.

In summer term 2008, Dr. Steinbrink together with Prof. Mathis introduced the new lecture *Modelling of Electromechanical Micro Systems*, mainly targeted at mechatronics students.

Prof. Huth and Dr. Bakran still offer their lectures *Dynamic Servo Drives* and *Electrical Traction*, and Prof. Ponick continues to hold his lecture *Small Electrical Motors and Servo Drives*, also 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. Some experiments are also used in a laboratory especially developed for mechatronics students by several institutes.

Vorlesungsbezeichnung	Dozent	SS	WS	SWS
Grundlagen der elektromagnetischen Energiewandlung	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick		X	V2, Ü2
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
Schaltnetzteile	Dr.-Ing. A. Averberg	X		V2
Elektrische Antriebstechnik II	Prof. Dr.-Ing. A. Mertens Prof. Dr.-Ing. B. Ponick	X	X	V2, Ü1
Leistungselektronik II	Prof. Dr.-Ing. A. Mertens	X		V2, Ü1
Leistungshalbleiter und Ansteuerungen	Prof. Dr.-Ing. A. Mertens	X		V2, Ü1
Datenverarbeitungssysteme	Prof. Dr.-Ing. A. Mertens		X	V2, Ü1
Modellierung von elektromechanischen Mikrosystemen	Dr.-Ing. J. Steinbrink	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 Maschinen	Prof. Dr.-Ing. B. Ponick Wiss. Mitarbeiter		X	
Kolloquium Elektrische Klein- und Servoantriebe	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, Ü2

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

Hörsaalübung: Dipl.-Ing. E. Garbe

Inhalt

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

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

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

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

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

Basics of Electromagnetical Power Conversion

(3rd term), V2, U2

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

Exercise: Dipl.-Ing. E. Garbe

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, Ü1

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 Kühlmethoden von Synchronmaschinen; Betriebsverhalten von Schenkelpolmaschinen im stationären Betrieb: Zeigerdiagramm, Ersatzschaltbild, Strom-ortskurve, Spannungsgleichungen, Potier-Dreiecke, Reluktanzmotoren; Unsymmetrische Belastung von Synchrongeneratoren.

Verlustarten; zusätzliche Verluste durch Oberwellen.

Elektrische Klein- und Servoantriebe

(5. bzw. 7. Semester), V2, Ü1
Vorlesung*): Prof. Dr.-Ing. B. Ponick
Übung: Dipl.-Ing. J. Emmrich

Inhalt

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

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

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

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

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

*) auch für TU Braunschweig

Small Electrical Motors and Servo Drives

(5th or 7th term), V2, U1
Lecture*): Prof. Dr.-Ing. B. Ponick
Exercise: Dipl.-Ing. J. Emmrich

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).

*) also held at TU Braunschweig

Elektronisch betriebene Kleinmaschinen

(6. bzw. 8. Semester), V2, Ü1
Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick
Übung: Dipl.-Ing. J.-P. Jastrzembski

Inhalt

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

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

Small Electronically Controlled Motors

(6th or 8th term), V2, U1
Lecture: Prof. Dr.-Ing. B. Ponick
Exercise: Dipl.-Ing. J.-P. Jastrzembski

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)

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

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

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

Schutzarten und Normen

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

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.

Elektrische Antriebssysteme

(6. Semester), V2, Ü1
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 transienter Vorgänge. Nachbildung des mechanischen Wellenstranges (mehrgliedrige Schwinger, Betrachtungen zur mechanischen Dämpfung), Berücksichtigung der transienten Stromverdrängung.

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

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

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.

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

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

Elektrische Antriebstechnik I

für Mechatroniker (3. Semester) und Maschinenbauingenieure (5. Semester), V2, Ü1

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

Übung: Dipl-Ing. M. Wöhrmann

Inhalt

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

Electric Drives I

for mechatronics students (3rd term) and mechanical engineering students (5th term), V2, U1

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

Exercise: Dipl-Ing. M. Wöhrmann

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

for mechatronics students (4th term) and mechanical engineering students (6th term), V2, U1

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

Exercise: Dipl.-Ing. T. Werner

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).

Induction 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 Antriebstechnik II

für Mechatroniker (4. Semester) und Maschinenbauingenieure (6. Semester), V2, Ü1

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

Übung: Dipl.-Ing. T. Werner

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 Drehstromsysteme), Elektrische Antriebstechnik I

Leistungselektronik I

(5. Semester), V2, Ü1
Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens
Übung: Dipl.-Ing. R. Meyer

Inhalt

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

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

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

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

Empfohlene Vorkenntnisse: Grundlagen der Elektrotechnik

Power Electronics I

(5th term), V2, U1
Lecture: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens
Exercise: Dipl.-Ing. R. Meyer

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

Leistungselektronik II

(6. Semester), V2, Ü1
Vorlesung: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens
Übung: Dipl.-Ing. L. Baruschka

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 II

(6th term), V2, U1
Lecture: Prof. Dr.-Ing. A. Mertens
Exercise: Dipl.-Ing. L. Baruschka

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

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

Empfohlene Vorkenntnisse: Grundlagen der Elektrotechnik, Leistungselektronik I

Data Processing Systems

(5th term), V2, U1

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

Exercise: Dipl.-Ing. L. Baruschka

Contents

Basics: data formats in digital computers, processor architectures and programming models

Peripherals: bus systems, interfaces, mass storage, input/output devices

Operating systems: single/multi user, multitasking

Real-time processing: synchronisation principles, context switching, interrupt handling

Networking: collision detection/avoidance, routing

Datenverarbeitungssysteme

(5. Semester), V2, Ü1

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

Übung: Dipl.-Ing. L. Baruschka

Inhalt

Grundlagen: Datenformate in Digitalrechnern, Prozessorarchitekturen und Programmiermodelle

Peripherie: Bussysteme, Schnittstellen, Massenspeicher, Ein-/Ausgabegeräte

Betriebssysteme: Single/Multi User, Multitasking

Echtzeitverarbeitung: Synchronisationsprinzipien, Kontext-Switching, Interruptbehandlung

Vernetzung: Kollisionserkennung/-vermeidung, Routing

Power Semiconductors and Gate Drives

(6th term), V2, U1

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

Exercise: Dipl.-Ing. T. Köneke

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 exam-

Leistungshalbleiter und Ansteuerungen

(6. Semester), V2, Ü1

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

Übung: Dipl.-Ing. T. Köneke

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 Grenzdaten
- Dynamische Vorgänge
- Bipolartransistor
- Thyristor
- GTO und IGCT
- 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

(6. bzw. 8. Semester), V2, Ü1

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

Übung: Dipl.-Ing. L. Dang Hung

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.

ples.

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 IGCT
- 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

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

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

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

Exercise: Dipl.-Ing. L. Dang Hung

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

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

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

Recommended previous knowledge: Power Electronics I and Electrical Drive Systems

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

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

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

Empfohlene Vorkenntnisse: Leistungselektronik I und Elektrische Antriebssysteme

Switched Power Supplies

(6th or 8th term), V2

Lecture: Dr.-Ing. A. Averberg

Lerning target

This lecture deals with all basic circuits of power electronic converters in the range up to 1kW, comprising control circuits, drivers and the control of switched power supplies. A special focus is laid on the design of the magnetic components.

Schaltnetzteile

(6. bzw. 8. Semester), V2

Vorlesung: Dr.-Ing. A. Averberg

Lernziel

In der Vorlesung Schaltnetzteile sollen alle grundlegenden Schaltungen leistungselektronischer Wandler im Leistungsbereich bis 1kW behandelt werden. Es wird auf Steuerschaltungen, Treiber und die Regelung von Schaltnetzteilen eingegangen. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Auslegung der magnetischen Komponenten gelegt.

Stoffplan

- Gleichrichterschaltungen
- Primär getaktete Schaltnetzteile
- Switched Capacitor
- Power Factor Correction
- Entstörfilter, Funkentstörung von Schaltnetzteilen
- Integrierte Steuerschaltungen und Treiber
- Auslegung der magnetischen Bauelemente
- Regelung von Schaltnetzteilen (Voltage-Mode-Regelung, Current-Mode-Regelung)

Notwendige Vorkenntnisse: Abgeschlossenes Grundstudium bzw. Bachelor Elektrotechnik und Informationstechnik

Empfohlene Vorkenntnisse. Leistungselektronik I und II

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 Netzrückspeisung, Antriebsmodellierung, stationäre Betriebskennlinien.

Entwickung der lagegeregelten Servoantriebe, Projektierung von Servoantrieben.

DC-Servoantriebe, DC-Servomotoren, 4-Q DC-

Contents

- rectifier circuits
- primary switched power supplies
- switched capacitor
- power factor correction
- noise filters, radio interference suppression of switched power supplies
- integrated control circuits and drivers
- design of magnetic components
- control of switched power supplies (voltage mode control, current mode control)

Necessary previous knowledge: Successfully completed basic studies or bachelor in electrical engineerung and information technology

Recommended previous knowledge: Power Electronics I and II

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 DC controller, steady-state performance char-

acteristics, 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.

Steller, stationäre Betriebskennlinien, Antriebsmodellierung.

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

Drehzahlgeregelter Hauptantrieb, lagegeregelter Servoantrieb. Übertragungsverhalten des linearen Lageregelkreises.

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.

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.

Modelling of Electromechanical Micro Systems

(8th term), V2, U1

Lecture: Dr.-Ing. J. Steinbrink

Contents

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

Introduction by using typical MEMS and NEMS based sensor and actuator systems, basics of mathematical modelling of coupled electrome-

Modellierung von elektromechanischen Mikrosystemen

(8. Semester), V2, Ü1

Vorlesung: Dr.-Ing. J. Steinbrink

Inhalt

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

Einführung anhand typischer MEMS- und

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

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

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

chanical systems, especially with respect to micro and nano technology, origin for numerical simulation methods, multilevel approaches to handle the high complexity of such systems, description of electromechanical models with finite degrees of freedom by means of the Lagrange formalism and models with infinite degrees of freedom using field-theoretical models, consideration of thermal, fluidic, optical and quantum-mechanical aspects, demonstration of the methods by using the examples mentioned above.

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

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

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

Das Kolloquium hat das Ziel, die Studenten in den zugehörigen Fächern in der letzten Phase der Prüfungsvorbereitung zu unterstützen. Hierbei wird im Unterschied zu den Übungen auf die Selbständigkeit der Bearbeitung von Fragestellungen besonderer Wert gelegt. In der Regel werden die Lösungen von alten, im Idealfall von den Studenten vorgeschlagenen Übungs- oder Klausuraufgaben in Gruppenarbeit erarbeitet und diskutiert. Die betreuenden Assistenten moderieren den Lösungsweg und unterstützen die Lö-

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 sup-

ported 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"

Coordination : M.Sc. C. Qui Nguyen

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.

sung durch Beantwortung von Fragen. Je nach Zusammensetzung und Wissensstand der studentischen Gruppe werden mehrere unterschiedliche Themen aus der gesamten Inhaltpalette der zugeordneten Vorlesungen intensiv behandelt.

Labor „Leistungselektronik“

Organisation : M.Sc. C. Qui Nguyen

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 z. B. 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“

Organisation:
Dipl.-Ing. T. Getschmann

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

Im Labor „Elektrische Maschinen“ 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.

Laboratory Exercise on „Electrical Machines“

Coordination:
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.

Labor „Elektrische Antriebssysteme“

Organisation:
Dipl.-Ing. T. Getschmann

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

Laboratory Exercise on „Electrical Drive Systems”

Coordination:
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.

umrichter mit Käfigläufer-Induktionsmotor
- 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 2008/2009

Students' Theses 2008/2009

Studienarbeiten

Short Theses

2008

André Brune:

Aufbau und Implementierung eines Motorenprüfstandes

Setup and implementation of a motor test bench

Yifeng Chu:

Automatisierter Wicklungsentwurf – Verallgemeinerung bestehender Algorithmen

Automated winding design – Generalisation of existing algorithms

Lan Dang Hung:

Untersuchung zur Reduzierung der online Trajektorienberechnungen beim prädiktiven Ständerstromregler für Mittelspannungsantriebe mit LC-Filtern

Investigations for reducing online trajectory calculations in predictive stator current controllers for medium-voltage drives with LC filters

Peter Jurczys:

Aufbau und Implementierung einer Regelung für doppeltgespeiste Asynchrongeneratoren

Design and implementation of a control for doubly-fed induction generators

Meike Kriegesmann:

Luftspaltleitwerte von Hybridschrittmotoren

Magnetic permeances modelling the air gap in hybrid stepping motors

Arvid Merkert:

Untersuchung des ZePoC-Ansteuerverfahrens zur Anwendung in der Leistungselektronik

Investigation of the ZePoC control method for use in power electronic applications

Michael Mohrmann:

Planung, Installation und Inbetriebnahme einer elektrischen Klappensteuerung für ein Turboladerprüffeld

Design, installation and commissioning of an electric valve control for turbo charger test equipment

Ingo Schmädecke:

Aufbau eines Stromstellers mit EtherCAT-Interface

Design of a current converter with EtherCAT interface

Andreas Schmidt:

Entwicklung von Auslegungskriterien für einen serienresonanten DC-DC Wandler in Brennstoffzellensystemen

Development of design criteria for a series-resonant DC/DC converter in fuel cell systems

Marcus Schönherr:

Aufbau einer Funkdatenübertragung für ein Cross-Aktor-Feinpositionierspannfutter

Design of a wireless data transmission for a cross actor precision positioning chuck

Gökhan Candemir Sert:

Aufbau, Test und Implementation eines Antennenarrays für ein transpondergestütztes, fahrerloses Transportsystem

Design, test and implementation of an antenna array for transponder-supported driverless transportation systems

Carsten Siepker:

Untersuchung, Aufbau und Inbetriebnahme eines stromgespeisten DC/DC-Wandlers mit hoher Spannungsverstärkung

Investigation, design and commissioning of a current-fed DC/DC converter with high voltage gain

Evgeny Zaretskiy:

Programmierung und erweiterte Inbetriebnahme eines sicheren Mikrocontrollerboards zur Kollisionsvermeidung an Robotern

Programming and enhanced commissioning of a safe micro controller board for collision avoidance at robots

Yuanxing Zhang:

Untersuchung des Betriebsverhaltens von Microfaserbürsten in Gleichstrommaschinen als Ersatz konventioneller Kohlebürsten

Investigation of the performance of microfibre brushes in DC machines compared to conventional carbon brushes

Dammon Ziaian:

Analytische Untersuchung eines serienresonanten DC-DC Wandlers für Brennstoffzellensysteme

Analytical investigation of a series-resonant DC/DC converter for fuel cell systems

2009

Heiko Bell:

Implementierung der Modulationsstrategie SB-ZePoC in einem Vier-Quadranten-Steller

Implementation of the SB ZePoC modulation strategy in a four quadrant converter

Florian Boseniuk:

Simulation elektromagnetischer Mikromotoren mittels FEM

Simulation of electromagnetic micro actuators by means of FEM

Peter Dück:

Bestimmung der transienten Reaktanzen von Schenkelpolmaschinen mit analytischen und numerischen Methoden

Determination of the transient reactances of salient-pole machines using analytical and numerical methods

Kacper Emmrich:

Numerische Nachrechnung von Asynchronmaschinen mit FEMAG im Vergleich zur analytischen Berechnung und Messung

Numerical calculation of induction machines by means of FEMAG compared to analytical calculations and measurements

Adrian Kreth:

Aufbau und Steuerung einer autonomen, durch eine Brennstoffzelle gespeisten Stromversorgung

Design and control of an autonomous power supply fed by a fuel cell

Nan Li:

Analytische Betrachtung der Luftspaltleitwerte von Hybridschrittmotoren

Analytical examination of the magnetic permeance of the air gap in hybrid stepping motors

Boris Meyering:

Aufbau und Inbetriebnahme eines Versuchsstandes zur Regelung permanenterregter Synchronmaschinen mit sinusförmiger Spannungsvorgabe

Design and commissioning of a test stand for permanent magnet synchronous machines fed by impressed sinusoidal voltages

Marc Müller:

Vergleich numerischer und analytischer Verfahren zur Berechnung der Eisenverlustleistung bei elektrischen Maschinen

Comparison of numerical and analytical methods to calculate the iron power losses in electrical machines

Ajmal Naderi:

Untersuchung elektrischer, temperaturabhängiger Parameter eines IGBTs zur treiberseitigen Temperaturbestimmung

Investigation of temperature sensitive electrical parameters of IGBTs for driver-sided temperature measurement

Adnan Nuhic:

Untersuchung von Wegmesseinrichtungen an Mikromotoren

Investigation of position sensors in micro actuators

Sergei Sandmann:

Untersuchung verschiedener digital angesteuerter Stromquellen zum kontrollierten Schalten von Hochleistungs-Halbleiterschaltern

Investigation of different digitally controlled current sources for a controlled switching of high-performance semiconductor switches

Ying Tao:

Aufbau und Untersuchung eines Switched-Capacitor DC/DC-Wandlers für variable Ausgangsspannung

Design and investigation of a switched capacitor DC/DC converter for variable output voltages

Jannik Teuber:

Aufbau einer Ansteuerschaltung für SiC-Transistoren und Untersuchen des Schaltverhaltens

Design of a control device for SiC transistors and investigation of its switching behaviour

Bernhard Ullrich:

Konzipierung einer Spannungsregelung für inselnetzbetriebene Synchrongeneratoren kleiner Leistung

Conceptual design of a voltage control for islanding low-performance synchronous generators

Bachelorarbeiten

Bachelor Theses

2009

Ajmal Naderi:

Untersuchungen zur sensorlosen Lageerfassung von permanenterregten Synchronmotoren im hohen Drehzahlbereich

Analysis of sensorless position estimation of permanent magnet synchronous motors at high speed range

Diplomarbeiten

Diploma Theses

2008

Lennart Baruschka:

Ermittlung der Statorströme eines geregelten Synchronmotors auf Basis gemessener Spannungen

Determination of the stator currents of a controlled synchronous machine based on voltage measurements

Ingo Frohböse:

Weiterführende Untersuchungen an einem Sliding-Mode-Regler zur Positionsregelung unter Berücksichtigung einer Parameteridentifikation

Advanced investigations for position controls in sliding mode controllers considering parameter identification

Eike Garbe:

Implementierung einer Kopplung von numerischen und analytischen Berechnungsprogrammen für permanenterregte Synchronmaschinen

Implementation of a coupling of numerical and analytical calculation programs for permanent magnet synchronous machines

Christian Glatz:

Entwicklung und Untersuchung von Steuer- und Regelverfahren zur optimierten Ansteuerung von Halbleiter-Bauelementen

Development and investigation of control methods for an optimised control of semiconductor elements

Robert Meyer:

Untersuchung, Aufbau und Regelung eines stromgespeisten DC-DC-Wandlers für ein Brennstoffzellensystem

Investigation, design and control of current-fed DC/DC converters for fuel cell systems

Serge Stephan:

Optimierung eines prädiktiven Reglers für Mittelspannungsantriebe mit Sinus-EMV-Filter

Optimisation of a predictive controller for medium-voltage drives with sinusoidal EMC filters

Ngoc Ho Tran:

Untersuchung, Aufbau und Inbetriebnahme eines phasenversetzt arbeitenden Hochsetzstellers

Investigation, design and commissioning of a phase-shifted boost converter

Timur Werner:

Treiberseitige Messgrößenerfassung an IGBTs zur Optimierung des Schaltverhaltens

Driver-sided data acquisition at IGBTs for an optimised switching behaviour

Yuanxing Zhang:

Untersuchung analytischer Verfahren zur Berechnung der Jochinduktion bei hochausgenutzten Induktionsmaschinen

Investigation of analytical methods to calculate the flux density in the yoke of induction machines with high utilisation

2009

Abdelhamid Bentaleb:

Modellierung, Simulation und Kompensation von Antriebsfehlern bedingt durch nichtlineare mechanische Effekte

Modelling, simulation and compensation of drive failures due to nonlinear mechanical effects

André Brune:

Entwicklung eines transienten Modells einer permanentmagneterregten Synchronmaschine unter Berücksichtigung von Effekten durch Oberwellen

Development of a transient model for permanent magnetic synchronous machines considering spatial harmonics

Lan Dang Hung:

Adaptive Regelverfahren zur Ansteuerung von Halbleiter-Bauelementen

Adaptive control methods for control of semiconductor elements

Martin Eckl:

Analyse und modale Regelung eines elektromagnetischen Führungssystems für Werkzeugmaschinen

Analysis and modular control of an electromagnetic guiding system for machine tools

Peter Jurczys:

Entwicklung eines Radnabenantriebs für ein Elektrofahrzeug

Design of an in-wheel motor for electric cars

Arvid Merkert:

Untersuchung von schaltbaren Wide-Band-Gap-Halbleiterbauelementen bei hohen Sperrschichttemperaturen

Investigation of switchable wide band gap semiconductor elements for high junction temperatures

Alexander Kock:

Untersuchung eines Radnabenantriebskonzeptes für Kraftfahrzeuge

Investigation of an in-wheel drive concept for electric cars

Meike Kriegesmann:

Numerische Ermittlung analytischer Ersatzfunktionen zur Nachrechnung des Betriebsverhaltens permanenterregter Synchronmaschinen

Numerical determination of analytical equivalent functions for calculating the performance of permanent magnet synchronous machines

Marcus Schönherr:

Simulation und Implementierung einer Regelung für eine Synchronmaschine

Simulation and implementation of a control for synchronous machines

Carsten Siepker:

Entwicklung und Untersuchung von Steuer- und Regelverfahren zur optimierten Ansteuerung von Halbleiter-Bauelementen

Design and investigation of control methods for an optimised control of semiconductor elements

Masterarbeiten

Master Theses

2008

Ning Chen:

Auslegung, Aufbau und Inbetriebnahme eines serienresonanten DC/DC-Wandlers

Design, construction and implementation of a series-resonant DC-DC converter

Minh Phuong Ha:

Vergleichende Untersuchung der direkten Drehmomentregelung (DTC) und der prädiktiven Ständerstromregelung für Mittelspannungsantriebe mit LC-Filtern

Comparative investigation of a direct torque control (DTC) and a predictive stator current control for medium-voltage drives with LC filters

Chinh Qui Nguyen:

Auslegung und Aufbau eines stromgeregelten Hochsetzstellers

Design, construction and implementation of a current-controlled boost converter

Trinh Hieu Trung:

Entwicklung und Aufbau einer digitalen Treibereinheit zur Stromansteuerung von Halbleiterbauelementen

Design and construction of a digital driver unit for current control of semiconductor elements

Anh Luong Tuan:

Entwurf, Aufbau und Inbetriebnahme eines dreistufigen Spannungszwischenkreis-Stromrichters

Design, construction and commissioning of a three-stage voltage source converter

2009

Ngoc Tu Hoang:

Implementierung einer feldorientierten Regelung für eine Asynchronmaschine auf einem Mikrocontroller

Microcontroller programming of a flux orientated control for an induction motor

Mingyu Li:

Numerische Nachrechnung von Synchronmaschinen mit FEMAG im Vergleich zur analytischen Berechnung und Messung

Numerical calculation of synchronous machines with FEMAG compared to analytical calculations and measurements

Mitarbeiter des IAL

Auf den folgenden Seiten präsentieren sich die Mitarbeiter des IAL. Die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter ist in den Jahren 2008 und 2009 noch einmal spürbar gestiegen, wobei alle zusätzlichen Mitarbeiter aus Drittmitteln in Form von Industriekooperationen oder von durch DFG oder andere öffentliche Geldgeber geförderten Projekten finanziert werden. Damit sind sowohl die Betreuungskapazität der Professoren als auch die verfügbaren Büroflächen endgültig ausgeschöpft. Bereits jetzt sind zwei der Mitarbeiter offiziell dem IFAM der Fraunhofer-Gesellschaft zugeordnet, in dem Prof. Mertens und Prof. Ponick eine Arbeitsgruppe für Elektrische Antriebe aufbauen werden.

Erfreulich ist dabei weiterhin, dass wir unsere neuen Mitarbeiter praktisch ausnahmslos aus dem eigenen Nachwuchs gewinnen konnten und die Mehrzahl dem IAL bereits seit Jahren als wissenschaftliche Hilfskräfte verbunden ist.

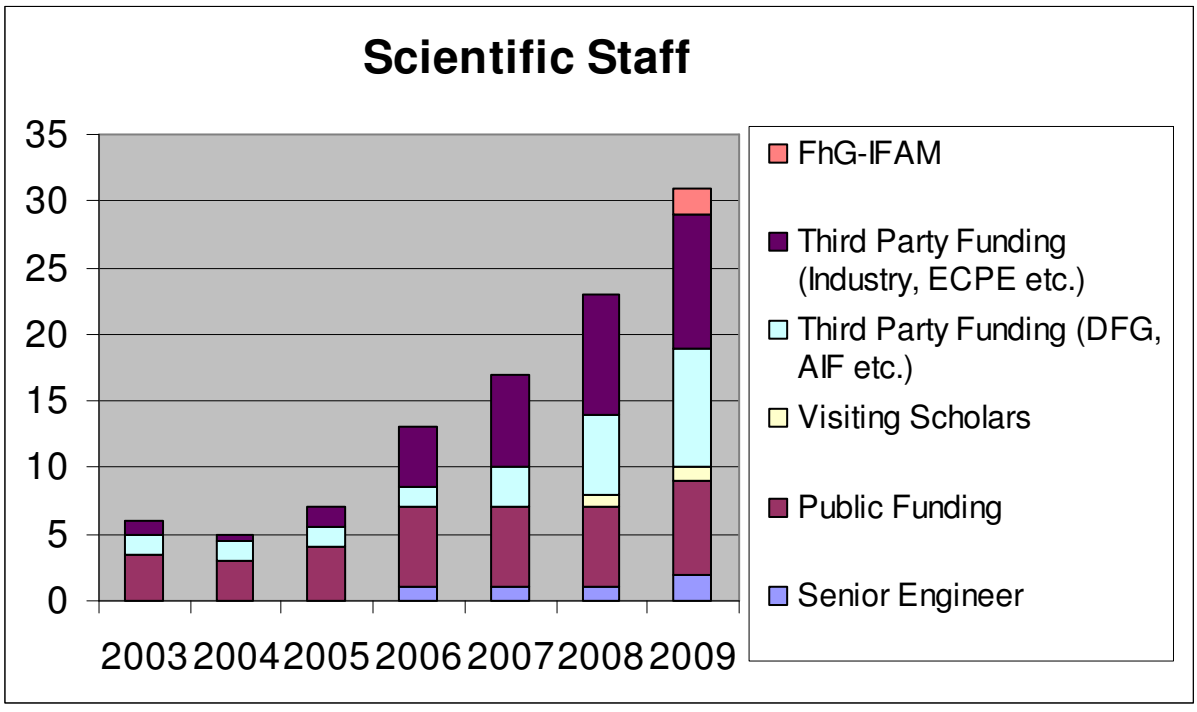
Auch für Werkstatt und Sekretariat konnten wir angesichts der wachsenden Arbeitsbelastung Verstärkung gewinnen: Herr Grendler unterstützt seit Mai 2008 vor allem Herrn Larivière bei allen Aufgaben rund um Messtechnik, Elektronik-Hardware und elektrische Geräte, und Frau Rottländer verstärkt seit Oktober 2008 unser Geschäftszimmer.

IAL Staff

In the following, we would like to present you our staff members. In 2008 and 2009, the number of research associates has increased again, our new staff being exclusively financed by third-party funds in form of industrial cooperations and projects financed by DFG or other public sponsors. With this, the professors have on the one hand reached their limits in giving adequate support to their researchers, and on the other hand our office premises are meanwhile fully occupied. Two of our research associates are already employed officially at IFAM, Fraunhofer society, where Prof. Mertens and Prof. Ponick are presently building up a working group for electrical drives.

Moreover, 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.

In view of the increased pressure of work, we could also acquire assistance for our technical and administrative staff. Since May 2008, Udo Grendler gives support concerning hardware, measurement and test equipment. Nicole Rottländer helps with administrative tasks since October 2008.



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

Phone +49(0)511-762-2514
Fax +49(0)511-762-3040
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

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

Lehrbeauftragte ♦ Ext. Lecturers

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

Dr.-Ing. Mark Bakran
Elektrische Bahnen
Electrical Traction

Oberingenieure ♦ Senior Engineers

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

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

Udo Grendler
Phone 762-2860, grendler@ial.uni-hannover.de

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, shamseldeen@ial.uni-hannover.de

Wiss. Mitarbeiter ♦ Scientific Staff

Leistungselektronik und Antriebsregelung
Power Electronics and Drive Control

Dipl.-Ing. Lennart Baruschka
Phone 762-5616, baruschka@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Lan Dang Hung
Phone 762-5224, dang@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. Arvid Merkert
Phone 762-5224, merkert@ial.uni-hannover.de

M.Sc. Chinh Qui Nguyen
Phone 762-2829, nguyen@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

Elektrische Maschinen und Antriebssysteme
Electrical Machines and Drive Systems

Dipl.-Ing. Dirk Braunisch
Phone 762-2839, braunisch@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. André Brune
Phone 762-5617, andre.brune@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. Eike Garbe
Phone 762-3758, garbe@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 Jastrzembski
Phone 762-2408, jastrzembski@ial.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Peter Jurczys
Phone 762-5224, jurczys@ial.uni-hannover.de

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

Dipl.-Ing. Meike Kriegesmann
Phone 762-3764, kriegesmann@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

IAL Staff Members

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 Kleinmaschinen
Small Electrical Machines

Dr.-Ing.
Andreas Averberg
Oberingenieur
Senior Engineer

Dr.-Ing
Jörn Steinbrink
Oberingenieur
Senior Engineer

Dr.-Ing.
Mark Bakran
Gastdozent
External Lecturer

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

Dipl.-Fachübers.
Petra Duensing
Verwaltung
Administration

Betriebswirtin
N. Schulz-Meden
Verwaltung
Administration

Hotelfachfrau
Nicole Rottländer
Verwaltung
Administration

Industriemeister
Carsten Selke
Werkstatt
Shop Technician

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

MSR-Techniker
Udo Grendler
Tech. Angestellter
Lab Assistant

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

Wissenschaftliche Mitarbeiter ♦ Research Associates

Dipl.-Ing.
Lennart Baruschka

Dipl.-Ing.
Dirk Braunisch

Dipl.-Ing.
Andre Brune
since 01/10

Dipl.-Ing.
Lan Dang Hung

Dipl.-Ing.
K.-H. Dempewolf

Dipl.-Ing.
Jakub Emmrich

M. Sc.
Vijay Ganesan

Dipl.-Ing.
Eike Garbe

Dipl.-Ing.
T. Getschmann

Dipl.-Ing.
Michael Gröninger

Dipl.-Ing.
Rainer Helmer

M. Sc.
Gerd Janssen

Dipl.-Ing.
J.-P. Jastrzembski

Dipl.-Ing.
Peter Jurczys

Dipl.-Ing.
Thies Köneke

Dipl.-Ing.
Michael Kriese

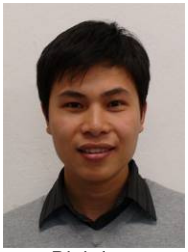
Dipl.-Ing.
M. Kriegesmann

Dipl.-Ing.
Harald Kuhn

Dipl.-Ing.
Tomasz Laczynski
until 06/09

Dipl.-Ing.
Arvid Merkert

Dipl.-Ing.
Robert Meyer


Dipl.-Ing.
Chinh Nguyen

Dipl.-Ing.
Niklas Rüger

Dipl.-Ing.
Cornelia Stübig

Dipl.-Ing.
Sebastian Tegeler

Dipl.-Ing.
Timur Werner

Dipl.-Ing.
Karsten Wiedmann

Dipl.-Ing
Michael Wöhrmann

Chronik 2008/2009

Chronicle 2008/2009

Januar 2008

01.01.

Thies Köneke und Sebastian Tegeler beginnen als Assistenten am IAL.

25.-27.01.

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

30.01.

Exkursion zur Fa. A. van Kaick in Ingolstadt

Februar 2008

18.02.

30. Geburtstag von Andreas Averberg

20.02.

30. Geburtstag von Harald Kuhn

März 2008

01.03.

Timur Werner beginnt als Assistent am IAL.

10./11.03.

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

April 2008

01.04.

Eike Garbe beginnt als Assistent am IAL.

03.04.

70. Geburtstag von Prof. Stölting

24.04.

Das IAL beteiligt sich am Zukunftstag für Jungen und Mädchen.

Prof. Mertens leitet eine Podiumsdiskussion zur Energieeffizienz im Forum „Life Needs Power“ auf der Hannover Messe.

21.-25.04.

Das IAL beteiligt sich als Aussteller auf der Hannover-Messe Industrie im Rahmen des Standes der LUH und der TectoYou.

30.04.

Das Handbuch Stölting/Kallenbach/Amrhein „Handbook of Fractional Horsepower Drives“ erscheint im Springer-Verlag.

Mai 2008

01.05.

Udo Grendler beginnt als Technischer Mitarbeiter am IAL.

30.05.

Hochzeit von Timur Werner

Juni 2008

06.06.

Institutskolloquium und Ehemaligentreffen im Leibnizhaus

9.-11.06.

Vortrag von Gerd Janssen auf der Actuator 2008 in Bremen

10.-13.06.

Vortrag von Dr. Steinbrink auf der Speedam in Ischia, Italien

15.-19.06.

Beiträge von Prof. Mertens, Andreas Averberg, Harald Kuhn, Tomasz Laczynski und Timur Werner auf der PESC 2008 in Rhodos, Griechenland

16.-18.06.

Prof. Stölting leitet das HDT-Seminar „Elektromagnetische Kleinantriebe“.

26.06.

Doktorprüfung von Sven Demmig

27.06.

Vortrag von Vijay Ganesan und Niklas Rüger auf dem LE-Nord-Treffen in Kiel

Juli 2008

01.07.

Dr. Bobojanov von der Universität Taschkent, Usbekistan, beginnt als Gastwissenschaftler seine siebenwöchige Forschungstätigkeit am IAL.

02.07.

Exkursion im Rahmen der Bahnenvorlesung zur Fa. Siemens nach Nürnberg

Teilnahme des IAL am Fußballturnier des Hochschulsportfests

07.07

Besuch und Gastvortrag von Prof. Lorenz von der University of Wisconsin-Madison, U.S.A., zum Thema „Self-sensing Sensorless Technologies for Advanced Electrical Drives“

09.07.

Exkursion zur Fa. ALSTOM in Salzgitter

Exkursion zur Fa. Kählig in Hannover

17.07.

Doktorprüfung von Ralf Gehrking

Gastvortrag von Dr. Bobojanov zum Thema „Elektrische Maschinen mit polumschaltbaren Wicklungen“

September 2008

16./17.09.

Organisation der Elektrotechnik-Präsenz auf den Hochschulinformationstagen durch das IAL

01.-03.09.

Beiträge von Andreas Averberg, Tomasz Laczynski, Niklas Rüger, Thies Köneke und Timur Werner auf der EPE-PEMC 2008 in Posen, Polen

06. – 09.09.

Vorträge von Rainer Helmer und Eike Garbe sowie Poster von Cornelia Stübig auf der ICEM in Vilamoura, Portugal

14.-17.09.

Beitrag von Niklas Rüger in Kooperation mit dem Institut für Theoretische Elektrotechnik auf der ICSES 2008 in Krakau, Polen

30.9.-2.10.

Symposium in Prag zwischen dem Institut für Thermomechanik der Tschechischen Akademie der Wissenschaften/Prag und dem IAL mit Vorträgen von Andreas Averberg, Niklas Rüger, Rainer Helmer, Cornelia Stübig, Sebastian Tegeler und Karsten Wiedmann

Oktober 2008

01.10.

Robert Meyer beginnt als Assistent am IAL.

02.10.

Timur Werner wird Vater.

04.10.

Carsten Selke ist 15 Jahre am IAL beschäftigt.

05.-09.10.

Vortrag von Tomasz Laczynski auf der IAS in Edmonton, Kanada

15.10.

Lennart Baruschka beginnt als Assistent am IAL.

Nicole Rottländer beginnt als Sekretärin am IAL.

21.-22.10.

Ausrichtung des FEMAG-Anwendertreffens in Würzburg mit 95 Teilnehmern zahlreicher Firmen, Vorträge von Jörn Steinbrink und Rainer Helmer zu allgemeinen FEMAG-Themen und im Speziellen zu permanentmagneterregten Synchronmaschinen und aus der Programmentwicklung und -anwendung

26.10.

30. Geburtstag von Nina Schulz-Meden

30./31.10.

Prof. Ponick, Prof. Mertens und Prof. Stölting halten das HDT-Seminar „Grundlagen elektrischer Antriebe“.

November 2008

01.11.

Teilnahme an der universitätsweiten Veranstaltung „Nacht, die Wissen schafft“ mit einer Laborpräsentation

03.-05.11.

Prof. Mertens leitet die Tagung „Leistungselektronische Systeme für die dezentrale -Energieversorgung“ auf dem VDE-Kongress 2008 in München.

04.11.

Lennart Baruschka erhält beim VDE-Kongress in München den Herbert-Kind-Preis 2008 der ETG.

06.11.

Sitzung des FVA-Arbeitskreises „Geregelte Elektroantriebe“ im IAL

15.11.

Chinh Qui Nguyen beginnt als Assistent am IAL.

19.11.

30. Geburtstag von Kay-Horst Dempewolf

24.11.

Eike Garbe erhält den E.ON Future Award für sein ausgezeichnetes Diplom 2008.

50. Geburtstag von Petra Duensing

Dezember 2008

01.12.

Vijay Ganesan wird Vater.

08.12.

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

15.12.

Instituts-Bowlingabend

Januar 2009

09.01.

Cornelia Stübig erhält den ersten Preis für Exzellente Lehre 2008 der Leibniz Universität Hannover.

15.-18.01.

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

22.01.

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

29.01.

Exkursion zur Fa. Georgsmarienhütte GmbH

Februar 2009

02.02.-28.08.

Eike Garbe beginnt einen Forschungsaufenthalt als Gastwissenschaftler an der Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet in Trondheim, Norwegen sowie an der Universität Kungliga Tekniska högskolan in Stockholm, Schweden.

18.02.- 22.05.

Karsten Wiedmann beginnt einen Forschungsaufenthalt als Gastwissenschaftler bei Prof. Lorenz, an der University of Wisconsin, Madison, USA.

19.02.

75. Geburtstag von Prof. Seinsch

März 2009

01.03.

Prof. Mertens und Prof. Ponick übernehmen die wissenschaftliche Leitung der Arbeitsgruppe „Elektroantriebe“ im Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung FhG-IFAM.

19.03.

Vortrag von Cornelia Stübig auf dem 17. Kleinmaschinenkolloquium der TU Ilmenau

23./24.03.

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

April 2009

01.04.

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

13.04.-17.07.

Andreas Averberg beginnt einen Forschungsaufenthalt als Gastwissenschaftler bei Prof. Venkataramanan, an der University of Wisconsin, Madison, USA.

20.-24.04.

Das IAL ist Aussteller auf der Hannover-Messe Industrie im Rahmen des Standes der LUH zum Themengebiet Energietechnik.

21.04.

Prof. Ponick leitet eine Podiumsdiskussion zur Energieeffizienz im Forum „Life Needs Power“ auf der Hannover Messe.

Mai 2009

01.05.

40. Geburtstag von Jörn Steinbrink

27.05.

Vortrag und Podiumsdiskussion von Prof. Ponick auf der EDA-Konferenz in Dresden

30.05.

Hochzeit von Gerd Janssen

Juni 2009

02.-05.06.

Mehrtägige Exkursion zu den Firmen Siemens (Erlangen, Nürnberg), Semikron (Erlangen), BMW und DB-ICE-Ausbesserungswerk (München)

06.06.

30. Geburtstag von Michael Wöhrmann

13.-18.06.

Prof. Mertens besucht als eingeladener Teilnehmer den 6th IEEE International Workshop „The Future of Electronic Power Processing and Conversion“ in Ragusa, Italien.

15.06.

40. Geburtstag von Nicole Rottländer

17.06.

Teilnahme des IAL am Fußballturnier des Hochschulsportfests mit erstmaligem Einzug in die Endrunde

22.06.

Prof. Ponick hält den Eröffnungsvortrag der ISTET’09 in Lübeck zum Thema „Miniaturisation of electrical machines“.

30.06.

Letzter Arbeitstag von Tomasz Laczynski

Juli 2009

07.07.

Treffen „Leistungselektronik Nord“ in Hannover mit Gästen aus Hamburg, Bremen, Kiel und Magdeburg

11.07.

Hochzeit von Robert Meyer

28.07.

30. Geburtstag von Jan-Peter Jastrzembski

31.07.

Hochzeit von Cornelia Stübig

August 2009

24.08.

Fahrradtour zum „Blauen See“ und zum Heimatmuseum von Prof. Stölting in Alt-Garbsen

27.08.

Doktorprüfung und Promotionsfeier von Andreas Averberg

September 2009

08.-10.09.

Vorträge und Poster von Andreas Averberg, Harald Kuhn und Karsten Wiedmann auf der EPE2009 in Barcelona, Spanien

11.09.

30. Geburtstag von Cornelia Stübig

16.09.

Michael Gröninger beginnt als Mitarbeiter der Arbeitsgruppe „Elektroantriebe“ im Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung FhG-IFAM.

17.09.

Teilnahme des IAL an der job@tac am Flughafen Hannover

23.09.

Doktorprüfung von Boris Loesenbeck

29/30.09.

Vortrag von Prof. Ponick auf dem 8. Technischen Tag der VEM-Gruppe in Wernigerode einen Vortrag

30.09.

Vortrag von Cornelia Stübig auf der Veranstaltung „Lehrreich – exzellente Lehrkonzepte“ an der Leibniz Universität Hannover

Oktober 2009

01.10.

Vortrag von Jörn Steinbrink auf der Veranstaltung „Direktantriebe“ im Haus der Technik, Essen

01./02.10.

Jan-Peter Jastrzembski nimmt am 5. Fachkolloquium WGTL in Ilmenau teil.

12.10.

30. Geburtstag von Thorsten Getschmann

27./28.10.

Prof. Mertens leitet die ETG-Fachtagung „Leistungselektronik in Netzen“ in Düsseldorf.

Vortrag von Jan-Peter Jastrzembski auf der ETG-Fachtagung „Direktantriebe und Generatoren“ in Düsseldorf

28./29.10.

Gerd Janssen, Vijay Ganesan und Karsten Wiedmann nehmen am Kolloquium Mikroproduktion in Bremen teil.

29.10.

Prof. Ponick und Prof. Mertens halten das HDT-Seminar „Wechselwirkungen bei umrichtergespeisten Antrieben“.

November 2009

01.11.

Meike Kriegesmann beginnt als Assistentin am IAL.

Jörn Steinbrink ist 10 Jahre am IAL beschäftigt.

02.-03.11.

Vorträge von Prof. Mertens und Harald Kuhn auf dem 38. Kolloquium zu „Halbleiter-Leistungs-Bauelemente und ihre Systemtechnische Integration“ in Freiburg

03.-05.11.

Vortrag von Jan-Peter Jastrzembski auf der IECON 2009 in Porto, Portugal

17.-18.11.

Ausrichtung des FEMAG-Anwendertreffens im Nürnberger Maschinen- und Apparatewerk von Siemens mit 90 Teilnehmern zahlreicher Firmen, Vorträge von Jörn Steinbrink und Eike Garbe zu allgemeinen FEMAG-Themen und im Speziellen zur automatisierten Berechnung aus der Programmentwicklung und –anwendung

30.11.

Vorträge von Prof. Ponick und Prof. Mertens auf der Getriebetagung in Berlin.

Dezember 2009

01.12.

Arvid Merkert und Peter Jurczys beginnen als Assistenten am IAL.

14.12.

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

15.12.

Lan Dang Hung beginnt als Assistent am IAL.

Alexander Kock beginnt als Mitarbeiter der Arbeitsgruppe „Elektroantriebe“ im Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung FhG-IFAM.

Veröffentlichungen 2008/2009

Publications 2008/2009

Konferenzbeiträge 2008

Conference Articles 2008

Averberg, A.; Mertens, A.

Characteristics of the Single Active Bridge Converter with Voltage Doubler
13th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC 2008), Poznan, Poland, 2008

Averberg, A.; Meyer, K.R.; Mertens, A.

Current-fed Full Bridge Converter for Fuel Cell Systems
IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC 2008), Rhodes, Greece, 2008, pp. 866-872

Averberg, A.; Meyer, K.R.; Nguyen, C.Q.; Mertens, A.

A Survey of Converter Topologies for Fuel Cells in the kW Range
IEEE Energy 2030 – Conference on Global Sustainable Energy Infrastructure, Atlanta, USA, 2008

Garbe, E.; Helmer, R.; Ponick, B.

Modelling and Fast Calculating the Characteristics of Synchronous Machines with the Finite Element Method
ICEM '08 XVIII International Conference on Electrical Machines, Vilamoura, Portugal, 2008

Helmer, R.; Wang, D.; Ponick, B.

Investigation of Part Winding Start Used in Cage Induction Motors
ICEM '08 XVIII International Conference on Electrical Machines, Vilamoura, Portugal, 2008

Janssen, G.; Traisigkhachol, O.; Gatzen, H.H.; Ponick, B.

Design and Fabrication of a Rotary Micro Synchronous Motor
11th International Conference on New Actuators and 5th International Exhibition on Smart Actuators and Drive Systems (Actuator 2008), Bremen, 2008

Kuhn, H.; Köneke, T.; Mertens, A.

Considerations for a Digital Gate Unit in High Power Applications
IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC 2008), Rhodes, Greece, 2008, pp. 2784-2790

Kuhn, H.; Köneke, T.; Mertens, A.

Potential of Digital Gate Units in High Power Applications
13th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC 2008), Poznan, Poland, 2008, pp. 1458-1464

Laczynski, T.; Mertens, A.

Predictive Stator Current Control for Three-level Voltage-source Inverters with Output LC Filters
13th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC 2008), Poznan, Poland, 2008, pp. 569-575

Laczynski, T.; Werner, T.; Mertens, A.

Active Damping of LC Filters for High Power Drives Using Synchronous Optimal Pulsewidth Modulation
IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC 2008), Rhodes, Greece, 2008, pp. 1033-1040

Laczynski, T.; Werner, T.; Mertens, A.

Energy-based Modulation Error Control for High-power Drives with Output LC Filters and Synchronous Optimal Pulse Width Modulation
13th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC 2008), Poznan, Poland, 2008, pp. 649-656

Laczynski, T.; Werner, T.; Mertens, A.

Modulationsfehlerregelung für Mittelspannungsantriebe mit LC-Filtern und offline opti-

mierter Pulsdauermodulation
3. VDE/VDI-Tagung (ETG-Fachbericht 113), Böblingen, Germany 2008, Seite(n): 117-123

Laczynski, T.; Werner, T.; Mertens, A.

Modulation Error Control for Medium Voltage Drives with LC Filters and Synchronous Optimal Pulse Width Modulation
IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS 2008), Edmonton, Canada 2008

Rüger, N.E.; Schnick, O.; Mathis, W.; Mertens, A.

New Modulation Strategy with Low Switching Frequency and Minimum Baseband Distortion
13th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC 2008), Poznan, Poland, 2008, pp. 132-138

Schnick, O.; Rüger, N.E.; Mertens, A.; Mathis, W.

New Modulation Strategy for Controlled Power Electronic Applications with Low Switching Frequencies
International Conference on Signals and Electronic Systems ICSES 2008, pp. 265-268

Steinbrink, J.

Design and Analysis of Windings of Electrical machines
International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM 2008), Ischia, Italy, pp. 717-720

Stübig, C.; Ponick, B.

Determination of Air Gap Permeances of Hybrid Stepping Motors for Calculation of Motor Behaviour
ICEM '08 XVIII International Conference on Electrical Machines, Vilamoura, Portugal, 2008

Buchbeiträge 2009

Books 2009

Müller, G.; Ponick, B.

Theorie elektrischer Maschinen
Lehrbuch, 706 Seiten, 6. Aufl., Wiley-VCH Weinheim, 2009

Aufsätze in Fachzeitschriften 2009

Journal Articles 2009

Helmer, R.; Garbe, E.; Steinbrink, J.; Ponick, B.

Combined Analytical-numerical Calculation of Electrical Machines
Acta Technica, Volume 54, Number 1, 2009, pp. 1-18

Laczynski, T.; Mertens, A.

Predictive Stator Current Control for Medium Voltage Drives with LC Filters
IEEE Transactions on Power Electronics, Volume 24, Issue 11, 2009, pp. 2427-2435

Wiedmann, K.; Mertens, A.

Analysis and Comparison of Sensorless Control Methods for permanent Magnet Machine Drives at Low Speed
Acta Technica, Volume 54, Number 1, 2009, pp. 19-33

Konferenzbeiträge 2009

Conference Articles 2009

Averberg, A.; Meyer, K.R.; Mertens, A.

Design Considerations of a Current-fed DC-DC Converter with High Voltage Gain for Fuel Cell Applications
EPE European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2009), Barcelona, Spain, 2009

Frohböse, T.; Jastrzembski, J.-P.; Overmeyer, L.; Ponick, B.

Modellierung eines Lineardirektantriebes für Transportbänder
5. Fachkolloquium WGTL, Ilmenau, 2009

Hansen, S.; Janssen, G.; Ganesan, V.A.; Ponick, B.; Mertens, A.; Gatzen, H.H.

Linearer skalierbarer Mikro-Reluktanzschrittmotor
Kolloquium Mikroproduktion, Bremen, 2009

Jastrzembski, J.-P.; Frohböse, T.; Ponick, B.; Overmeyer, L.

Direktantrieb eines Förderbandes durch einen permanentmagneterregten Synchron-Linear-

Motor
ETG-Kongress, Düsseldorf, 2009

Jastrzembski, J.-P.; Ponick, B.

Design of a Novel Direct Driven Conveyor by a Linear Synchronous Motor
35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, (IECON 2009), Porto, Portugal, 2009

Kuhn, H.; Mertens, A.

On-line Junction Temperature Measurement of IGBTs Based on Temperature Sensitive Electrical Parameters
EPE European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2009), Barcelona, Spain, 2009

Ponick, B.

Miniaturisation of Electrical Machines
International Symposium on Theoretical Electrical Engineering (ISTET 2009), Lübeck, 2009

Ponick, B.; Jastrzembski, J.-P.

Neuartiger Linear-Direktantrieb für Transportbänder
Technischer Tag der VEM-Gruppe, Wernigerode, 2009

Tegeler, S.; Helmer, R.; Ponick, B.

Saturation Behaviour of Doubly-fed Induction Generators
European Wind Energy Conference & Exhibition 2009, Marseille, France, 2009

Waldschik, A.; Feldmann, M.; Wiedmann, K.; Janssen, G.; Ponick, B.; Mertens, A.; Büttgenbach, S.

Funktionelle Komponenten für einen linearen Reluktanzschrittmotor
Mikrosystemtechnik-Kongress 2009, Berlin, 2009

Wiedmann, K.; Wallrapp, F.; Mertens, A.

Analysis of Inverter Nonlinearity Effects on Sensorless Control for Permanent Magnet Machine Drives Based on High-Frequency Signal Injection
EPE European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2009), Barcelona, Spain, 2009

Sonstige Beiträge 2009

Other Articles 2009

Mertens, A.

Leistungselektronik – Effizienz, Einsatzmöglichkeiten, Potentiale
Unimagazin der Leibniz Universität Hannover, Heft 01/02, 2009, pp. 26-29

Ponick, B.

Elektromechanische Energiewandlung - Antriebstechnik als Schlüsseltechnologie der Energieeffizienzsteigerung
Unimagazin der Leibniz Universität Hannover, Heft 01/02, 2009, pp. 12-14

Veranstaltungen 2008/2009

Events 2008/2009

30.09. – 02.10.2008

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

Averberg, A; Meyer, K.R.; Mertens, A.

Analysis of a current-fed full bridge converter for fuel cell systems
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 4-10

Bartoš, S.

Utilization of the Undeland snubber in a multi-level converter
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 11-12

Doležel, I.; Donatova, M.; Karban. P.

Actuator based on principle of thermoelasticity for producing extreme forces
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 13-17

Helmer, R.; Garbe, E.; Steinbrink, J.; Ponick, B.

Combined analytical-numerical calculation of electrical machines
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 18-25

Chomát, M.; Schreier, L.; Bendl, J

Performance of adjustable speed drive under input voltage unbalance
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 26-31

Kokeš, P.; Semerád, R.

Voltage Balancing of four-level capacitor-clamped voltage source
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 32-40

Nečesaný, J.; Škramlík, J.

Simple 2D electromagnetic field mapping of the induction motor drives
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 41-44

Paclt, Z.; Šimek, P.; Škramlík, J. Valouch, V.

Control strategy of active power filter
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 45-48

Paclt, Z.; Šimek, P.; Škramlík, J. Valouch, V.

Analytical modeling and implementation of three-phase four-switch space-vector PWM converter
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 49-52

Rüger, N.E.; Schnick, O.; Mathis, W.; Mertens, A.

Application of ZePoC modulation to single phase power converters
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 53-59

Schreier, L.; Bendl, J.; Chomát, M.

Influence of selected parameters on induction generator properties
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 60-64

Stübig, C.; Ponick, B.

Analytical calculation method for hybrid stepping motors
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 65-70

Tegeler, S.; Ponick, B.

Saturation behaviour of doubly-fed induction generators
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 71-74

Wiedmann, K.; Mertens, A.

Analysis and comparison of sensorless control methods for permanent magnet machine drives at low speed
Symposium IAL/Czech Academy of Sciences, Prag, 2008, pp. 75-82

21./22.10.2008

Dr. Steinbrink richtet das FEMAG-Anwendertreffen 2008 in Würzburg aus mit folgenden Vorträgen des IAL:

Steinbrink, J.

Wicklungsauslegung von PM-Maschinen

Helmer, R; Reichert, K.

Dimensionierung von PM-Maschinen

17./18.11.2009

Dr. Steinbrink richtet das FEMAG-Anwendertreffen 2009 in Nürnberg aus mit folgenden Vorträgen des IAL:

Steinbrink, J.

Bericht zur Sektion FEMAG

Garbe, E.

FEMAG-TS, aktueller Stand einer FEMAG-Version für transiente Vorgänge

Steinbrink, J.

Berechnung von Induktionsmaschinen mit FEMAC-AC

Auszeichnungen 2008/2009

Awards 2008/2009

04.11.2008

Lennart Baruschka erhält für hervorragende Leistungen im Studium den Herbert-Kind-Preis 2008 der Energietechnischen Gesellschaft (ETG) im VDE.

24.11.2008

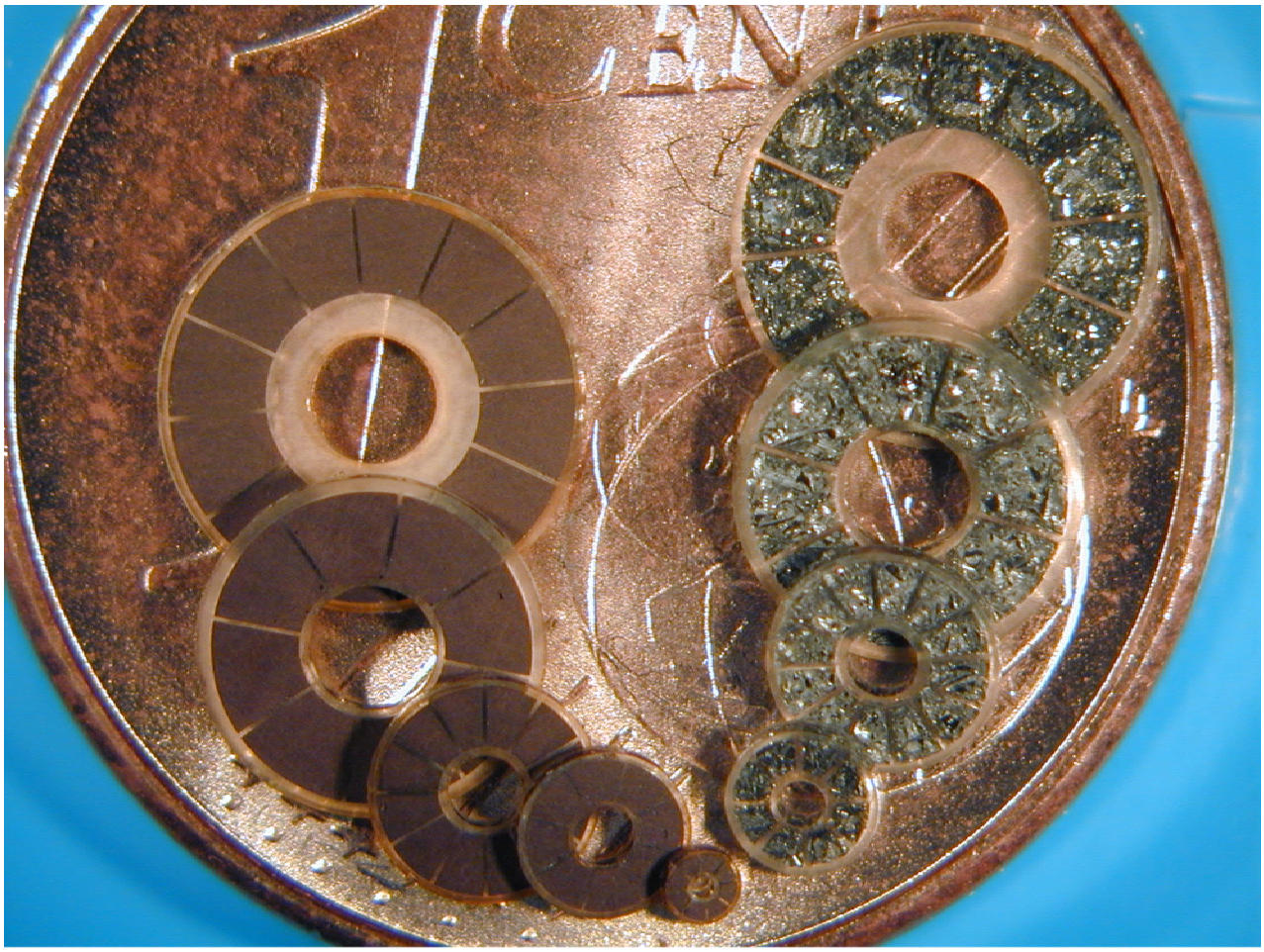
Eike Garbe erhält für sein ausgezeichnetes Diplom den E.ON Future Award 2008.

09.01.2009

Cornelia Stübig erhält den von der Leibniz Universität Hannover erstmalig verliehenen Preis für Exzellente Lehre 2008.

Dissertationen 2008/2009

Dissertations 2008/2009



Rotoren von Mikrosynchronmotoren
Rotors of synchronous micro motors

Gleichspannungswandler für Brennstoffzellensysteme Analyse, Vergleich und Bewertung unterschiedlicher Konzepte

von Dipl.-Ing. Andreas Averberg

Die Brennstoffzelle stellt eine Option für eine saubere und umweltfreundliche Energieversorgung der Zukunft dar. Sie ist in der Lage, Wasserstoff oder andere Brenngase unter Verwendung von Sauerstoff direkt in elektrische Energie zu wandeln. Insbesondere bei Teillast kann dabei ein hoher elektrischer Wirkungsgrad erreicht werden. Nachteilig wirkt sich in Brennstoffzellensystemen die geringe Ausgangsspannung der Einzelzellen von nur ca. einem Volt aus. Auch bei einer Reihenschaltung zu einem Brennstoffzellenstapel werden im kW-Bereich kleine Ausgangsspannungen bei relativ hohen Ausgangsströmen erreicht. Zudem ist die Klemmenspannung stark lastabhängig, und Wechselstromanteile im Ausgangsstrom wirken sich ungünstig auf Wirkungsgrad und Lebensdauer der Zellen aus. Diese Eigenschaften müssen beim Entwurf von Gleichspannungswandlern für die Anbindung von Brennstoffzellen an unterschiedliche Applikationen berücksichtigt werden.

In der Dissertation werden spannungsgespeiste, stromgespeiste und zweistufige Gleichspannungswandler untersucht und hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in Brennstoffzellensystemen miteinander verglichen. Hierfür werden die einzelnen Wandler vollständig und in geschlossener Form analytisch beschrieben. Dies ermöglicht eine Darstellung charakteristischer Größen, wie z.B. der Effektivströme in allen Bauelementen oder der magnetischen Belastung der induktiven Komponenten in Abhängigkeit der Schaltungs- und Betriebsparameter. Der Einfluss von Schaltfrequenz, Streuinduktivität und Windungszahlenverhältnis des Transformators sowie der Größe eventuell vorhandener Ein- oder Ausgangsdrosseln auf das Betriebsverhalten kann hiermit übersichtlich und vollständig dargestellt werden. Des Weiteren kann die Verlustleistung für alle Komponenten berechnet und hiermit die Lage des Wirkungsgradmaximums für alle Betriebspunkte bestimmt werden. Dies ist in Abb. 1 beispielhaft für den zweistufigen Wandler dargestellt. Durch dieses Vorgehen wird ein optimales Schaltungsdesign der Gleichspannungswandler

DC-to-DC Converters for Fuel Cell Systems Analysis, Comparison and Evaluation of Different Approaches

by Dipl.-Ing. Andreas Averberg

Fuel cells are one option for a clean and environmental friendly energy supply in the future. They convert hydrogen or other gases under the utilisation of oxygen into electric energy. Fuel cells can reach a high efficiency especially at part load. A draw back for the fuel cell system is the relatively low output voltage, which is in the range of one volt for a single cell. Even if connected in series into a stack, fuel cells in the kW range have low output voltages and relatively high output currents. Furthermore, the voltage is strongly load-dependent, and ripple currents have a negative impact on efficiency and lifetime of the cells. These characteristics have to be taken into consideration in the design process of a dc-dc converter for fuel cell applications.

The dissertation focuses on the investigation of voltage-fed, current-fed and two-stage converters, comparing them with respect to their suitability for the use in fuel cell systems. For this purpose, analytical calculations are given, completely describing the operating behaviour of each individual topology. As a consequence, it is possible to present the trend of characteristic values as e.g. rms currents in all devices and the magnetic stress in the inductive components, depending on topology and operating parameters. The impact of switching frequency, the transformer's leakage inductance and its winding ratio and the value of an optional input or output inductor is clearly and completely stated out. Furthermore, the power losses can be calculated for all components, and the optimum efficiency can thus be specified for all operating conditions. This is shown in Fig. 1 for a two-stage converter. In this way, an optimised converter design is provided.

Due to the leakage inductance in combination with a high switching frequency, the transferable power is limited in the investigated one-stage converters. This can especially be noticed in low input voltage applications, as is the case in fuel cell systems. An analytical

equation for the maximum power of each dc-dc converter is deduced.

Based on the analytical investigations, a comparison of the different dc-dc converters is done. For this comparison, equal chip areas of the semiconductor devices and equal ripple currents at the input of each topology are required. As the needed breakdown voltage of the semiconductor devices varies in the different converters, the on-state resistance's dependency on the particular breakdown voltage is calculated. Finally, considering the overall installed size, the converter efficiencies are calculated for full load as well as for partial load. Based on this, the comparison is done for different power ranges from 1 kW up to 5 kW. Fig. 2 shows that the voltage-fed topologies reach high efficiencies by large overall installed sizes. For a small volume of the passive components, in low-power applications the current-fed topology and in higher power applications the two-stage topology performs better. Two-stage and current-fed converters obviously have a better part-load performance than voltage-fed converters.

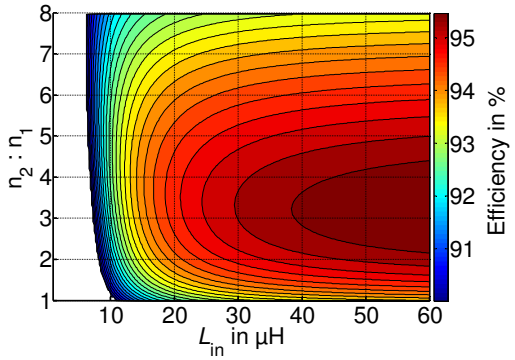


Abb. 1: Berechneter Wirkungsgrad des zweistufigen Gleichspannungswandlers über Induktivität der Eingangsdrossel und Windungszahlenverhältnis des Transformators

Fig. 1: Efficiency calculated for a two-stage converter depending on input inductor and winding ratio of the transformer

ermöglicht.

Aufgrund der Streuinduktivität in Kombination mit einer hohen Schaltfrequenz ergibt sich bei den einstufigen Konzepten eine Limitierung der übertragbaren Leistung. Dies macht sich insbesondere bei Anwendungen mit niedrigen Eingangsspannungen bemerkbar, wie es in Brennstoffzellensystemen der Fall ist. Ein analytischer Ausdruck der Maximalleistung wird für alle DC/DC-Wandler hergeleitet.

Auf Basis der analytischen Untersuchungen wird ein Vergleich der unterschiedlichen Konzepte vorgenommen. Dies geschieht unter den Randbedingungen gleicher Chipflächen der Leistungshalbleiter sowie gleicher Wechselstromanteile am Eingang der DC/DC-Wandler. Da die benötigte Sperrspannung der Leistungshalbleiter in den verschiedenen Topologien unterschiedlich ist, wird die Abhängigkeit des Durchlasswiderstandes von der jeweiligen Sperrspannung berechnet. Unter Berücksichtigung der Bauvolumina werden schließlich die Wirkungsgrade sowohl im Nennbetrieb als auch bei Teillast bestimmt. Auf dieser Basis wird ein Vergleich der Wandler für unterschiedliche Leistungsbereiche von 1 kW bis 5 kW durchgeführt. Abb. 2 zeigt, dass die spannungsgespeisten Topologien bei relativ großem Bauvolumen den besten Wirkungsgrad erreichen. Für kleine Bauvolumina sind im niedrigen Leistungsbereich die stromgespeisten Wandler, im höheren Leistungsbereich das zweistufige Konzept zu favorisieren. Der zweistufige und die stromgespeisten DC/DC-Wandler besitzen ein deutlich besseres Teillastverhalten als die spannungsgespeisten Varianten.

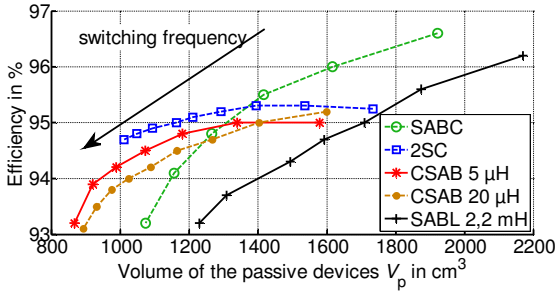


Abb. 2: Entwicklung des Wirkungsgrades und des Volumens der passiven Bauelemente für die spannungsgespeiste (SAB), stromgespeiste (CSAB) sowie zweistufige (2SC) Topologie bei unterschiedlichen Schaltfrequenzen von 16 kHz bis 60 kHz

Fig. 2: Development of efficiency and volume of the passive devices for voltage-fed (SAB), current-fed (CSAB) and two-stage (2SC) topologies for different switching frequencies from 16 kHz to 60 kHz

Ansteuerung und Regelung von elektromagnetischen Mikromotoren

von Dipl.-Ing. Sven Demmig

Gegenstand der Arbeit ist ein vollständiges Antriebssystem für elektromagnetische Mikromotoren bestehend aus Leistungselektronik, Ansteuerung und Positionsregelung.

Mikrotechnisch hergestellte Schrittmotoren und permanentmagneterregte Synchronmotoren weisen aufgrund ihrer kleinen Abmessungen und besonderen Materialeigenschaften sehr kleine elektrische und mechanische Zeitkonstanten auf. Die kleinen Dimensionen haben zusätzlich Parameterungenauigkeiten z. B. in der Reibung zur Folge. Je nach räumlicher Anordnung der Antriebskomponenten ist neben dem Motorwirkprinzip eine kleine Baugröße der einzelnen Komponenten ein wichtiges Auslegungskriterium. Behandelt werden die Ansteuerung der Motoren, eine angepasste Leistungselektronik sowie zur Positionsregelung ein im Hinblick auf die Dynamik modifizierter Sliding-Mode-Regler.

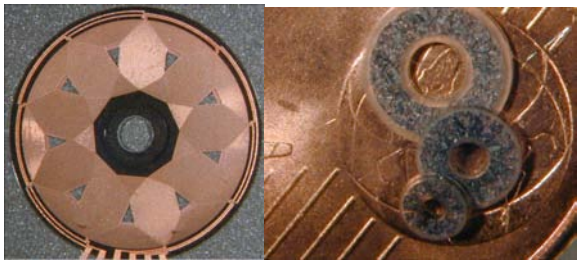


Abb. 1: Ständer und Läufer eines umlaufenden Mikromotors
Fig. 1: Stator and rotor of a rotating micro motor

Auf dem Gebiet der Ansteuerung wird neben dem klassischen Schrittbetrieb eine optimale Einschaltstrategie zur Reduzierung der ohmschen Verluste durch Berücksichtigung von thermischen Änderungen der Strangwiderstände hergeleitet. Weiterhin wird eine Ansteuerung für einen linearen Reluktanzschrittmotor entworfen, die eine integrierte magnetische Lagerung des Läufers ermöglicht. Die theoretischen Grundlagen werden durch Simulationsergebnisse untermauert.

Die geringe elektrische Zeitkonstante der Motorstränge begünstigt das Auftreten von Oberschwingungen beim Einsatz von getakteten Leistungselektroniken. Daher wird eine auf die Mi-

Open and Closed Loop Control of Electromagnetic Micro Motors

by Dipl.-Ing. Sven Demmig

This thesis presents an electrical drive system for controlling electromagnetic micro motors.

Micro stepping motors and permanent magnet synchronous motors, fabricated using microtechnologies, have a very small mechanical and electrical time constant due to their small dimensions and the properties of the special materials used. Based on the spatial distribution of the drive components, the dimensions of each component form an important criterion. This thesis deals with the drive system of micro motors equipped with a suitable power electronics and a position controller optimised for better dynamics.

Along with the classical stepping mode of operation, a special excitation technique is presented, reducing the copper losses by taking into account the temperature-dependent variations of the stator resistance.

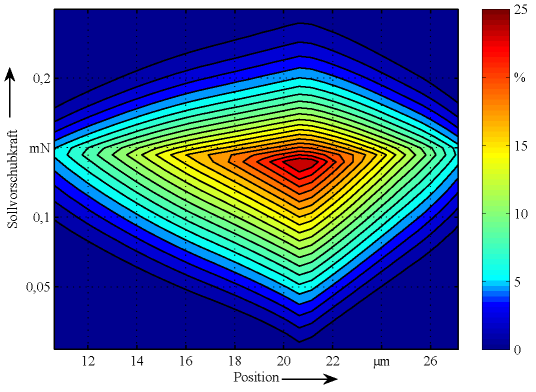


Abb. 2: Mögliche Verlusteinsparungen durch optimierte Ansteuerung
Fig. 2: Potential loss reduction using the optimised control

Furthermore a control scheme for a linear reluctance motor with integrated electromagnetic guidance is developed and has been validated using simulations. The levitation force is generated using the same windings which are used to develop the thrust. The aim of the control scheme is to decouple the effects of these two forces. For controlling the micro motors, a suitable power electronics

module is required. At first, the effect of the current ripple on the copper losses in the motor is evaluated. In order to reduce the amplitude of the current ripple, a dc-dc converter for switching frequencies up to 10 MHz is investigated analytically. In the modified sliding mode position controller, a time-optimised characteristic is achieved by online calculation of the gradient of the sliding surface.

As a first step, the algorithm is derived. In the following, the influence of the controller parameters looking at the limiting factors is discussed. The functionality of the algorithm is shown by simulations and measurements. In order to optimise the knowledge of the system, a parameter identification in the state space is evaluated.

kromotoren angepasste Leistungselektronik benötigt. Zunächst werden die Auswirkungen von Stromoberschwingungen auf die Motorverluste beurteilt. Zur Reduzierung der Stromwelligkeit wird ein Gleichstromwandler mit einer Grundtaktfrequenz von bis zu 10MHz analytisch, mittels Simulationen und messtechnisch analysiert.

Der für die Positionsregelung entwickelte Sliding-Mode-Regler erzielt eine zeitoptimale Regelung, indem im Gegensatz zu den bisher bekannten Verfahren die Regelparameter adaptiv berechnet werden. Zunächst wird der Algorithmus hergeleitet. Anschließend erfolgt die Parametrisierung des Reglers in Bezug auf die Rahmenbedingungen. Die Funktionsfähigkeit des Regelalgorithmus wird anhand von Simulationen und Messungen nachgewiesen. Zur weiteren Verbesserung des Regelverhaltens wird eine an den Regelalgorithmus angepasste Parameteridentifikation im Phasenraum an einem Versuchsmotor überprüft.

Entwurf von Aktivteilen elektromagnetischer Mikrolinearmotoren unterschiedlicher Wirkprinzipien

von Dipl.-Ing. Ralf Gehrking

Gegenstand der Arbeit ist der Entwurf des Aktivteils dünnfilmtechnisch hergestellter Mikrolinearmotoren mit elektromagnetischem Wirkprinzip. Unter Mikromotoren werden hier Motoren mit Gesamtabmessungen im Millimeterbereich verstanden, wobei die Abmessungen funktionsrelevanter Teilgeometrien im Mikrometerbereich liegen.

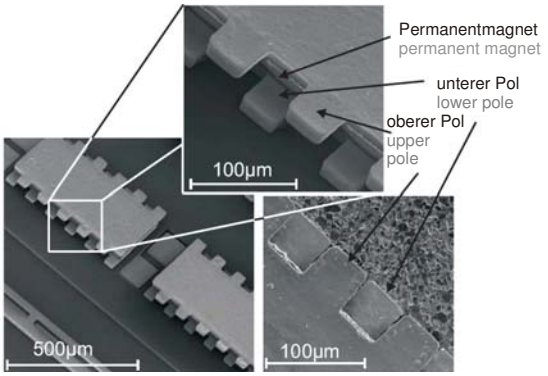


Bild 1: Polstrukturen des Horizontal-Hybridschrittmotors (Quelle: IMT-BS)

Fig. 1: Pole structures of the horizontal hybrid stepping motor (Source: IMT-BS)

Als Motortypen werden ausschließlich solche untersucht, die in offener Steuerkette eingesetzt werden können und der Kategorie der Schrittmotoren zugeordnet sind. Aufbauend auf den Einstieg in das Themengebiet werden die grundsätzliche Wirkungsweise der verschiedenen Schrittmotorprinzipien und die wichtigsten zur Herstellung der Mikromotoren eingesetzten Fertigungsverfahren sowie die in der Mikrotechnik zur Verfügung stehenden Materialien erläutert.

Auf dieser Basis erfolgt der elektromagnetische Entwurf der unterschiedlichen Mikromotorkonzepte. Umfangreiche Untersuchungen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit elektromagnetischer Mikromotoren stellen den Hauptteil der Arbeit dar. Aus der Anwendung der mikrotechnischen Fertigungsverfahren und den speziellen Eigenschaften der in der Mikrotechnik zur Verfügung stehenden Materialien ergeben sich besondere Designregeln für den elektro-

Design of Active Parts for Linear Electromagnetic Micro Motors with Different Operation Principles

by Dipl.-Ing. Ralf Gehrking

This paper deals with the design of the active part of linear electromagnetic micro motors manufactured by using thin film technology. The overall dimensions of these micro motors are in the range of a few millimetres, but the geometries with essential functions have dimensions of only a couple of micrometres.

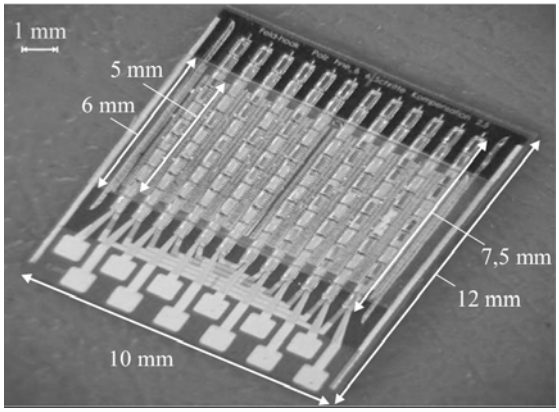


Bild 2: Horizontal-Reluktanzschrittmotor (Quelle: IMT-BS)

Fig. 2: Horizontal reluctance stepping motor (Source: IMT-BS)

The investigated motor types are exclusively operated with an open loop control, falling in the category of stepping motors. After the introduction into this topic, the fundamental operation principle of the different stepping motors is explained, and the most important micro technology fabrication processes to build up micro motors as well as the materials used are described.

On the basis of these fundamentals, the electromagnetic design of different micro motors is carried out. The results of extensive investigations concerning the performance of the different motor concepts are the main part of the presented work. The use of micro technology processes and the special properties of the available materials result in special rules for the electromagnetic design. The investigation and presentation of these particularities is an emphasis of this work.

Another important aspect to be considered during the design of the active part of micro drive systems are the characteristics of the available micro guidance. The high friction coefficient of the available micro guidance requires active part concepts with small normal forces. Special active part concepts - for example with an integrated magnetic guidance - with the objective to minimise the normal forces and consequently the friction forces are presented in this research.

Finally, the investigated motor types are compared including an evaluation concerning the suitability as an active part of a micro drive system.

magnetischen Entwurf. Die Untersuchung und Herausstellung dieser Besonderheiten bildet einen Schwerpunkt dieser Arbeit.

Ein weiterer beim Entwurf des Aktivteils eines Mikro-Antriebssystems zu berücksichtigender Aspekt ergibt sich aus den Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Mikroführungen. Hohe Reibkoeffizienten der Führungen erfordern Aktivteilkonzepte mit möglichst geringen Normalkräften. Spezielle Aktivteildesigns - unter anderem mit integrierter magnetischer Führung - mit dem Zweck der Minimierung der Normal- respektive der Reibkräfte werden in dieser Arbeit vorgestellt.

Abschließend erfolgt ein Vergleich der untersuchten Motorvarianten inklusive der Bewertung bezüglich der Eignung als Aktivteil eines Mikro-Antriebssystems.

Untersuchung von Netzpulsstromrichtern mit einem abschaltbaren Halbleiterventil

von Dipl.-Ing. Jan Boris Loesenbeck

Gegenstand der Arbeit ist die Untersuchung von Netzpulsstromrichtern mit einem abschaltbaren Halbleiterventil in einer nicht netzgetrennten und einer netzgetrennten Variante.

Der Netzpulsstromrichter mit einem abschaltbaren Halbleiterventil ermöglicht sowohl in der nicht netzgetrennten, als auch in der netzgetrennten Variante die kostengünstige und netzfreundliche Bereitstellung einer steuerbaren Gleichspannung.

Für die nicht netzgetrennte Variante wird zu Begin der Netzdrosselstrom analytisch hergeleitet und strukturiert angegeben. Hierauf basierend folgt zunächst die Berechnung des verzerrten Netzstromverlaufs. Die für die Netzstromharmonischen in der Literatur auf andere Weise gewonnenen Ergebnisse werden bestätigt und weitergeführt. Für die beiden Steuerverfahren „Betrieb mit konstanter Pulsfrequenz“ und „Betrieb an der Lückgrenze“ werden anschließend die Verlustleistung der Halbleiterventile, die Belastung des Netzfilterkondensators und die Welligkeit der Ausgangsspannung analytisch hergeleitet, untersucht und beispielhaft dargestellt: Bei Bemessungsleistung ist der Betrieb an der Lückgrenze vorteilhaft. Im Teillastbetrieb ist bezüglich der Schaltverlustleistung der Betrieb mit konstanter Pulsfrequenz vorteilhaft, wohingegen der Betrieb an der Lückgrenze hier Vorteile bezüglich der Durchlassverlustleistung aufweist.

Die auf gleiche Weise untersuchte netzgetrennte Variante zeigt bei Betrieb mit konstanter Pulsfrequenz eine sinusförmige Netzstromaufnahme. Für das abschaltbare Halbleiterventil muss ein Entlastungsnetzwerk vorgesehen werden, dessen Auswirkungen zusammen mit der Verlustleistung und der Belastung des Netzfilterkondensators untersucht werden.

Messungen an einem Versuchsaufbau bestätigen die berechneten Werte.

Examination of Single-switch Three-phase AC/DC Converters

by Dipl.-Ing. Jan Boris Loesenbeck

This paper deals with the examination of single-switch three-phase AC/DC converters with isolated and with non-isolated output voltage.

The single-switch three-phase AC/DC converter is a cost-effective solution for providing a controllable non-isolated or isolated output voltage with low harmonic distortion of the mains currents.

For the non-isolated version, the current of the input inductor will be analytically derived. Based on this, the harmonic distortions of the mains current will be calculated. Results given in literature are confirmed and new results are provided. For two control concepts - fixed and variable pulse frequency - the power losses, the stress of the input capacitor and the ripple of the output voltage are analytically derived, numerically determined and exemplarily shown. One result is that operation at variable pulse frequency is advantageous for rated power. For partial load, fixed pulse frequency is advantageous regarding the switching losses, while variable pulse frequency is advantageous with respect to the conduction losses.

The isolated version is evaluated in the same way and shows a sinusoidal input current for fixed pulse frequency. In order to reduce the voltage blocking stress of the switch, a snubber circuit has to be proposed. The power losses and the stress of the input capacitor are analysed and discussed.

Finally the theoretical results are confirmed by measurements made on a prototype.

Institut für
Antriebssysteme
und Leistungselektronik

Leibniz
Universität
Hannover

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

Institut für
Antriebssysteme
und Leistungselektronik

Leibniz
Universität
Hannover