



**Institut für elektrische Antriebe,
Leistungselektronik und Bauelemente
der Universität Bremen**

Jahrbuch 2006

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Orlik
Univ.-Prof. Dr. phil. nat. Dieter Silber**

**Das IALB ist eine Forschungseinrichtung im
Bremer Centrum für Mechatronik**



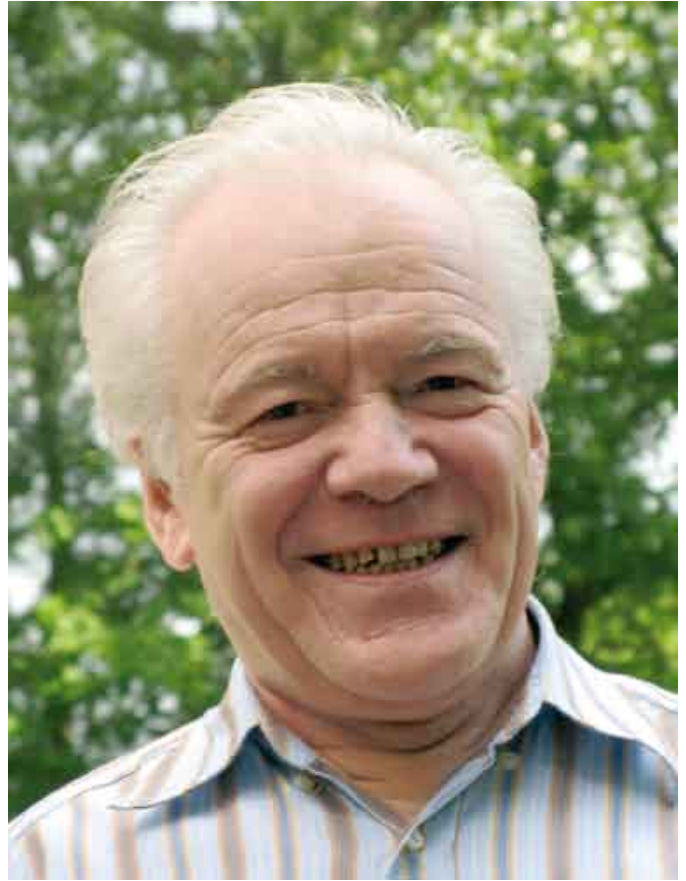
Universität Bremen

Themenübersicht

Vorwort	1
Mitarbeiter des IALB im Jahr 2006	3
Belastungsminimale Regelung von Windenergieanlagen	4
Vergleichmäßigung der Ausgangsleistung von Windenergieanlagen	5
Sensorlose Drehzahlregelung von Asynchronmaschinen	6
High-Speed DSP Rechnerkarte mit TI TMS320F-2812	7
Inbetriebnahme- und Diagnosesystem zur prozeßangepassten Diagnose und Überwachung mit RT-Linux Betriebssystem	8
Entwurf eines Fahrtriebs für eine Hub-Arbeitsbühne: Transversalflussmaschine mit innovativen Werkstoffen	9
Berührungslose Energieübertragung für elektromechanische Systeme	10
Transversalflussmaschine als Direktantrieb für den Einsatz in Manipulationssystemen	11
Parameteridentifikation und schwingungsarme Regelung von Transversalflussantrieben	12
Robuste, H_{∞} -optimale PI-Kaskadenregelung für Mehrmassen-Systeme	13
EMV in der Leistungselektronik	14
Simulation von leistungselektronischen Schaltungen	15
Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) für Offshore Windparks	16
Parallelschaltbarkeit von Wechselrichtern zur Versorgung von elektrischen Inselnetzen	17
Entwicklung und Entwurf eines permanentenerregten Transversalflussmotors als Radnabenantrieb für mobile Plattformen	18
Hochdynamische Multi-Level Frequenzumrichter	19
Lehrveranstaltungen des Instituts	20
Grundlagen der Elektrotechnik III	20
Power Converter Technology	21
Antriebsregelung und Mechatronik I	21
Antriebsregelung und Mechatronik II	22
Grundlagenlaboratorium Regelungstechnik Teil 1	22
Praktikum Antriebs- und Stromrichtertechnik	22
Werkstoffe, Bauelemente, Schaltungen I	23
Werkstoffe, Bauelemente, Schaltungen II	23
Leistungselektronik und Stromrichtertechnik I	24
Halbleiterbauelemente	24
Semiconductor Devices	24
Einführung in die Festkörperphysik	24
Modellbildung und Messverfahren für Halbleiterbauelemente und Solarzellen	24
Konstruktion elektrischer Maschinen II	25
System Theory I	25
Grundlagenlabor der Elektrotechnik	26
Unternehmerisches Denken an der Universität	26
Konstruktion elektrischer Maschinen I	27
Beratung zum Berufspraktikum (Grund- und Fachpraktikum der Elektrotechnik)	28



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Orlik



Univ.-Prof. Dr. phil. nat. Dieter Silber

Vorwort

Wir freuen uns, dass wir mit dem Jahrbuch 2006 die Freunde und Kooperationspartner des Institutes wieder über die Forschung und Lehre des Instituts im vergangenen Jahr informieren können.

Die Zusammenstellung der Projektberichte gibt eine Übersicht über die Forschungsaktivitäten der beiden Arbeitsbereiche Elektrische Antriebstechnik und Bauelemente der Leistungselektronik des Instituts. Durch die Mitwirkung des Instituts im Bremer Centrum für Mechatronik konnten in 2006 erste interdisziplinäre Forschungsvorhaben gemeinsam mit anderen Fachgebieten begonnen werden. Diese Aktivitäten haben dazu geführt, dass das Drittmittelvolumen des Instituts im Jahr 2006 auf hohem Niveau noch einmal gesteigert werden konnte. Die sehr positive Entwicklung lässt für die kommenden Jahre ein Wachstumspotential dieser Aktivitäten erwarten.

Im Juni des vergangenen Jahres ist Prof. Dr. phil. nat. Dieter Silber in den „aktiven Ruhestand“ versetzt worden. Erfreulich ist, dass das Berufungsverfahren für die Wiederbesetzung der Professur bereits sehr weit fortgeschritten und zu erwarten ist, dass der Nachfolger von Prof. Silber noch im Jahr 2007 seine Arbeit aufnehmen wird. Bis dahin nimmt Prof. Silber die Aufgaben in der Lehre noch im vollen Umfang wahr, so dass sich für das Institut ein kontinuierlicher Professorenwechsel ergeben wird.

Trotz der knappen Grundaussstattungsmittel durch die Universität konnte das Lehrangebot wieder im Umfang der Vorjahre aufrecht erhalten werden. Besonders zu erwähnen ist, dass die Planungen für ein neues Labor für digitale Echtzeit-Signalverarbeitung abgeschlossen werden konnten und mit dem Aufbau des Labors begonnen worden ist. Dieses Labor ist speziell auf die hohen Anforderungen der elektrischen Antriebstechnik an die Echtzeit-Signalverarbeitung ausgelegt. Die Möglichkeiten des Instituts zur Hard- und Softwareentwicklung werden damit auf einen modernen Stand gebracht. Das Labor wird sowohl für die studentische Ausbildung als auch für unsere Forschungs- und Entwicklungsvorhaben eine wichtige Grundlage bilden.

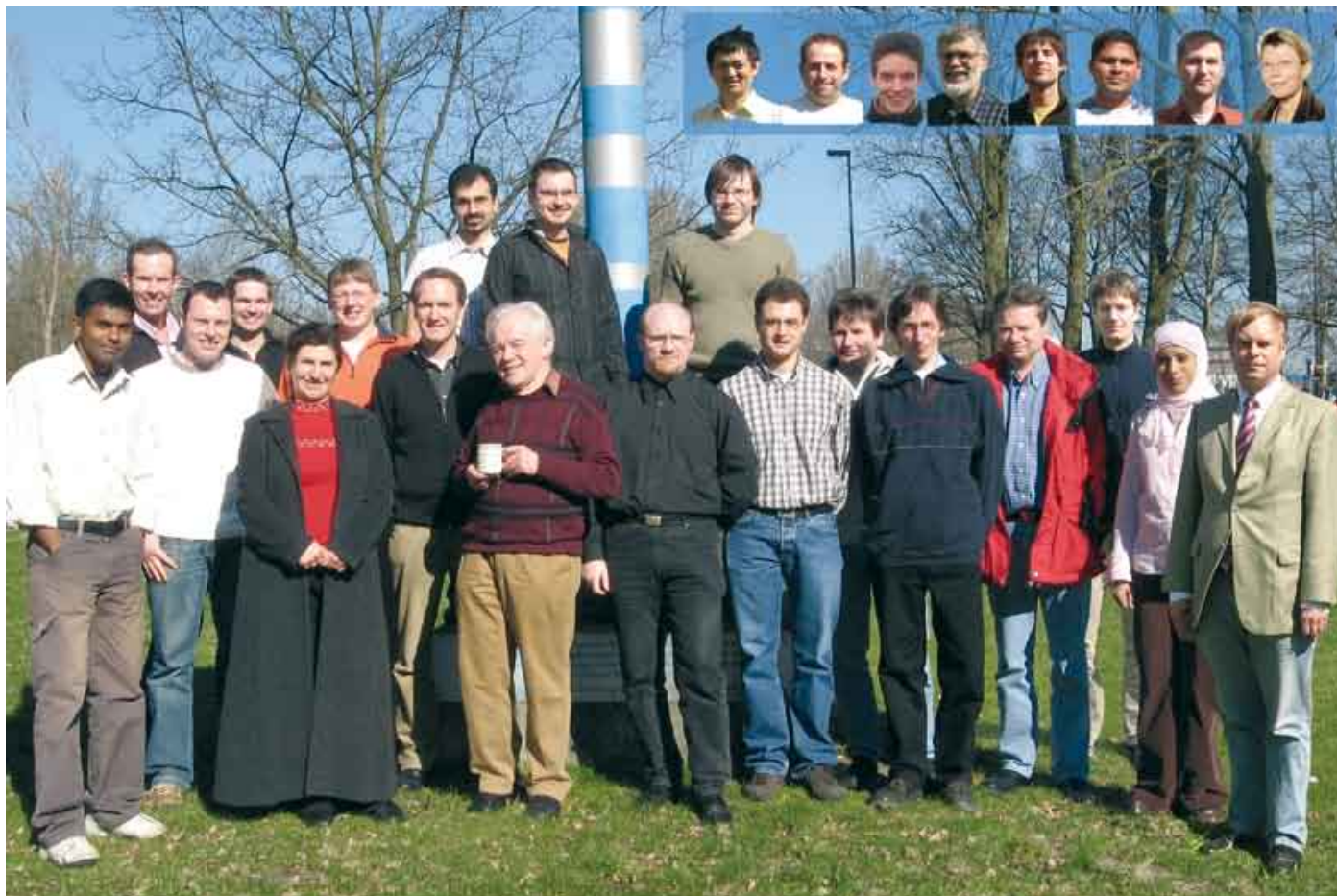
Dieser Erfolg war nur möglich durch das weit überdurchschnittliche Engagement aller Institutsmitarbeiter, sowie aller im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten oder als studentische Hilfskräfte tätigen Studierenden, die hoch motiviert und mit hohem persönlichen Einsatz einen wesentlichen Beitrag zur Forschung und Lehre des Instituts geleistet haben.

Allen Freunden des IALB und allen Geschäftspartnern danken wir für ihre Unterstützung und ihr Vertrauen.

Bremen, im April 2007

(Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Orlik) (Univ.-Prof. Dr. phil. nat. Dieter Silber)

Mitarbeiter des IALB im Jahr 2006



Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Bernd Orlik
Prof. Dr. phil. nat. Dieter Silber

Oberingenieure: Dr.-Ing. Nejila Parspour, Dipl.-Ing. Thorsten Petter, Dipl.-Ing. Uwe Werner

Forschungsgruppen

Sekretariat	Antriebe	Regenerative Energien	Mechatronik	Leistungsbauelemente	Technische Mitarbeiter
M. Hofmann H. Janssen	T. Christ H. Groke M. Vinogradski S. Hoffmann M. Joost	P. Holzenkämpfer Chr. Renz O. Haase H. Langmack Wu Bing	K. Peter Chr. Mehler J. Schüttler G. Tisborn S. Bassurah M. Siatkowski	S. Milady A. Müller E. Chukaluri U. Vermulapati	G. Matthies B. Vahlenkamp G. Schwerdtfeger

Belastungsminimale Regelung von Windenergieanlagen

Der Anteil der Windenergie an der gesamten Energieversorgung hat in den vergangenen Jahren mit jährlichen Wachstumsraten von bis zu 35 % kontinuierlich zugenommen. Betrug die Leistung pro Anlage vor 10 Jahren noch weniger als 500 kW, so verfügen die aktuellen „Standard“-Anlagen über bis zu 2 MW Leistung. Einige Hersteller haben bereits erste 5 MW Anlagen in Betrieb genommen, die aufgrund ihrer Größe z.Zt. für den „Offshore“-Einsatz geplant werden.

Bedingt durch die immense Leistungssteigerung der Anlagen kommen diese mittlerweile in Auslegungsbereichen, in denen mechanische Belastungen auf Anlagenkomponenten wirken, die mit konventionellen stationären Industrieanlagen nicht vergleichbar sind. Hierunter fallen insbesondere hohe Spitzendrehmomente und dynamische Lastwechselwirkungen, die sich auf den gesamten Antriebsstrang übertragen. In jedem Fall unterliegt der Antriebsstrang hohen dynamischen Belastungen, da er die direkte Verbindung zwischen dem Rotor (Umwandlung der Windenergie in rotatorische Energie) und dem Generator mit Frequenzumrichter (Umwandlung der rotatorischen Energie in elektrische Energie) darstellt. In dieser Funktion muss der Antriebsstrang sowohl die Dynamik der Windlasten über den Rotor als auch die Dynamik des elektrischen Netzes über den Generator aufnehmen. In unterschiedlichem Umfang kommen noch elastische Verformungen aus der Turm- und Gondelkonstruktion hinzu, die sich ebenfalls auf den Antriebsstrang auswirken.

Ziel der aktuellen Forschung, die unter anderem in Kooperation mit der Technischen Universität Dresden durchgeführt wird, ist es, beispielsweise leistungsfähige Werkzeuge zur belastungsgerechten Auslegung des gesamten Triebstrangs zu erstellen.

Des Weiteren soll eine laufende Überwachung der Belastungen in kritischen Komponenten des Triebstrangs realisiert werden, die zum Betrieb großer Windenergieanlagen mit minimaler mechanischer Belastung führt.

Für die kleinen und mittelständischen Unternehmen der Windenergietechnik wird damit die Grundlage für die Dimensionierung dynamisch optimal abgestimmter Triebstränge gebildet, um somit eine Vergrößerung der Anlagenlaufzeit durch eine mechanisch schonende Betriebsweise zu ermöglichen.



Abb.: Prüfstand „Windenergieanlage“

Die Arbeit umfasst folgende Schwerpunkte:

- Erstellung einer Mehrkörpersimulation des Antriebsstranges (MKS)
- Entwicklung eines Online-Beobachtungssystems
- Entwicklung einer belastungsminimalen Regelung

Um direkte experimentelle Untersuchungen durchzuführen, wird am IALB in einem Versuchs- und Demonstrationsprüfstand der Triebstrang einer Windenergieanlage nachgebildet. Dieser soll die Verifizierung der aus Simulationen gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen und die Basis zur Realisierung eines Online-Beobachtungssystems darstellen.

Vergleichmäßigung der Ausgangsleistung von Windenergieanlagen

Die Windkraft hat sich heute als alternativer Stromlieferant fest etabliert. Der Anreiz weiter in die Wind-Energieerzeugung zu investieren, wurde durch die Beschlüsse der Bundesregierung mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 25.02.2000 initiiert.

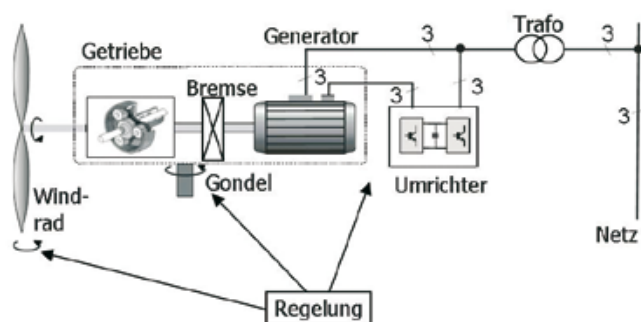


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer Windenergieanlage (WEA)

Das IALB beschäftigt sich mit der Regelung von Windenergieanlagen und hat in diesem Bereich schon einige Forschungsarbeiten durchgeführt. Die vermehrte Einspeisung von elektrischer Energie aus Windkraft bringt aufgrund der fluktuierenden Einspeisung Probleme mit sich. Darum ist es bei dem immer größer werdenden Anteil der Windenergie an der gesamten Energieerzeugung wichtig, diese auch in die Stabilisierung des Netzes mit einzubeziehen. Ein erster Schritt dazu ist es, für eine zeitlich konstante Einspeisung an elektrischer Energie zu sorgen. Langfristige Schwankungen im Minuten- oder Stundentakt, die durch das variierende Windangebot verursacht werden, können nur durch große Energiespeicher ausgeglichen werden. Die kurzzeitigen Schwankungen im Sekundentakt in der abgegebenen elektrischen Leistung, die durch Böen entstehen, können durch verschiedene Ansätze, an denen das IALB forscht, innerhalb der Windenergieanlage kompensiert werden.

Die Entwicklungen der Windkraftanlagen haben zu einer Vergleichmäßigung der Ausgangsleistung geführt. Im Abb. 1 ist der schematische Aufbau einer Windenergieanlage (WEA) zu sehen. Es handelt sich dabei um ein Konzept mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator und Getriebe, wie es heutzutage vielfach eingesetzt wird. Bei diesem Konzept wird der Stator des Generators über einen Transformator

direkt mit dem Netz verbunden und der Rotor über einen Frequenzumrichter gespeist.

Dadurch ist der Betrieb mit variabler Drehzahl möglich, was zu einer Vergleichmäßigung der Ausgangsleistung führt. Außerdem sind die Rotorblätter mit einer Pitch-Regelung ausgestattet, um bei veränderten Windverhältnissen die Leistung zu regeln.

In den Simulationen in Abb. 2 ist ein Vergleich unterschiedlicher Generatorkonzepte zu sehen. Bei alten Anlagen ist die Leistung noch stark von den Windschwankungen abhängig und bei den heutigen Konzepten ist die Einspeisung einer konstanten Leistung möglich. Die Blattverstellung hat schon eine erhebliche Vergleichmäßigung der Leistung mit sich gebracht. Mit der Einführung der Leistungselektronik wurde es erreicht, eine nahezu konstante Leistung auch bei fluktuierender Windgeschwindigkeit einzuspeisen (Abb. 2 unten).

In Zukunft erhalten bei erhöhtem Windenergieanteil die Anforderungen der Energieversorger bzgl. kurz- und mittelfristiger Leistungseinspeisung unter Einhaltung der Netzstabilität größere Bedeutung. Um diese zu erfüllen, ist die Einbeziehung einer Kurz- und Mittelfristwindprognose in eine übergeordnete

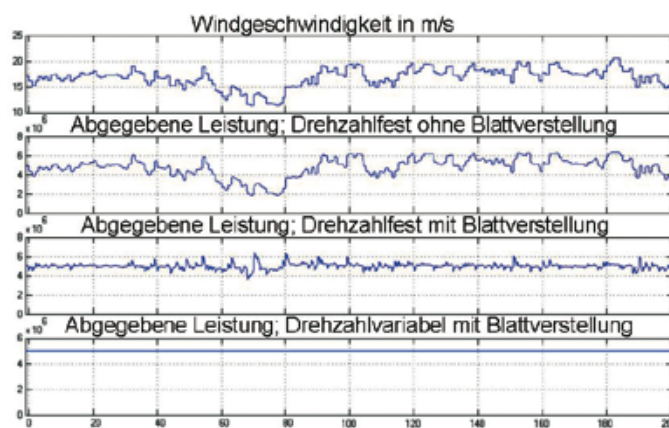


Abb. 2: Simulation der unterschiedlichen WEA-Konzepte

Leistungsregelung ganzer Windparks unerlässlich. Ebenso dient die Kurzfristwindprognose dazu, unnötige und verschleißrelevante Bewegungen der Verstellautomatik bei fluktuierender Windgeschwindigkeit abhängig vom aktuellen Wetter zu minimieren. Derartige Modelle aus verschiedenen Bereichen (Regelungstechnik, Meteorologie, Antriebstechnik, Umrichtertechnik und Lastfluss ins elektrische Verbundnetz) zur Gesamtsimulation der Signalkette werden im IALB ab dem Jahre 2007 implementiert.

Sensorlose Drehzahlregelung von Asynchronmaschinen

Durch den Einsatz von immer leistungsfähigeren und kostengünstigeren Mikrorechnern wird es in naher Zukunft möglich sein, eine Asynchronmaschine (ASM) unter vertretbarem Aufwand drehgeberlos zu regeln. Neben der Kostenreduzierung für Material, Wartung und Inbetriebnahme erhöht sich durch die Einsparung eines Drehgebers die Flexibilität der Einsatzmöglichkeiten für diesen robusten und einfachen Maschinentyp.

Für eine hochdynamische Regelung eines Drehstromantriebes ist die möglichst genaue Kenntnis der Feld-Drehwelle in der Maschine eine Grundvoraussetzung. Moderne, modellbasierte Regelverfahren bieten unterschiedliche Möglichkeiten, über sogenannte Flussmodelle diese Voraussetzung zu erfüllen.

Am IALB sind Flussmodelle zur sensorlosen feldorientierten Drehzahlregelung der ASM entwickelt worden, die eine hinreichend genaue Berechnung des Flussvektors und damit auch der Grundwelle des umlaufenden Drehfeldes in der Maschine ermöglichen, ohne Informationen über die Drehzahl der Maschine zu besitzen. Eingangsgrößen der Flussmodelle sind die gemessenen Phasenströme und -spannungen der Maschine. Mit der Identifikation des nichtlinearen Übertragungsverhaltens des verwendeten Frequenzumrichters minimiert sich der sensorische Aufwand auf die einfache Messung der Phasenströme. Eine kostenintensive Messung der Phasenspannungen entfällt.

Der verwendete Ansatz zur feldorientierten sensorlosen Drehzahlregelung beruht auf der Bestimmung eines Differenzwinkels zwischen dem, mittels

Flussmodells berechneten, Modellflussvektor und der tatsächlichen Flussvektoralage in der ASM. Um die drehmoment- bzw. leistungsoptimale feldorientierte Regelung einer ASM zu ermöglichen, werden sämtliche Parameter des zugrundegelegten Maschinenmodells und das Sättigungsverhalten bestimmt. Zusätzlich werden die umrichter- oder maschinenbedingten Strom- bzw. Spannungsbegrenzungen im Vorfeld identifiziert und ebenfalls in den Bestimmungsalgorithmus des Differenzwinkels integriert.

Auftretende Abweichungen werden dabei im hoch dynamischen Differenzwinkelregelkreis ausgeglichen. Die nötigen Informationen für die Berechnung des Orientierungsfehlers werden aus den induzierten Spannungen gewonnen. Hierbei wird im physikalisch kritischen Ständerfrequenzbereich um null Hertz die Maschine mit Testsignalen angeregt.

Mit der Optimierung der Flussmodelle,

durch genauere Identifikation der Maschinenparameter, ist es am IALB gelungen, nicht nur den gesamten Grunddrehzahlbereich, sondern auch im Feldschwächbetrieb eine ASM sensorlos zu regeln. Dabei konnte ein stabiler Betrieb an unterschiedlichen Asynchronmaschinentypen (2- und 4-polig) unter Nennlast sowohl motorisch als auch generatorisch nachgewiesen werden.

Die aktuelle Forschung am IALB befasst sich mit der Entwicklung neuartiger sensorloser Flussmodelle. Diese sollen größere Abweichungen der identifizierten Maschinenparameter tolerieren, um so den Identifikationsaufwand zu verringern.

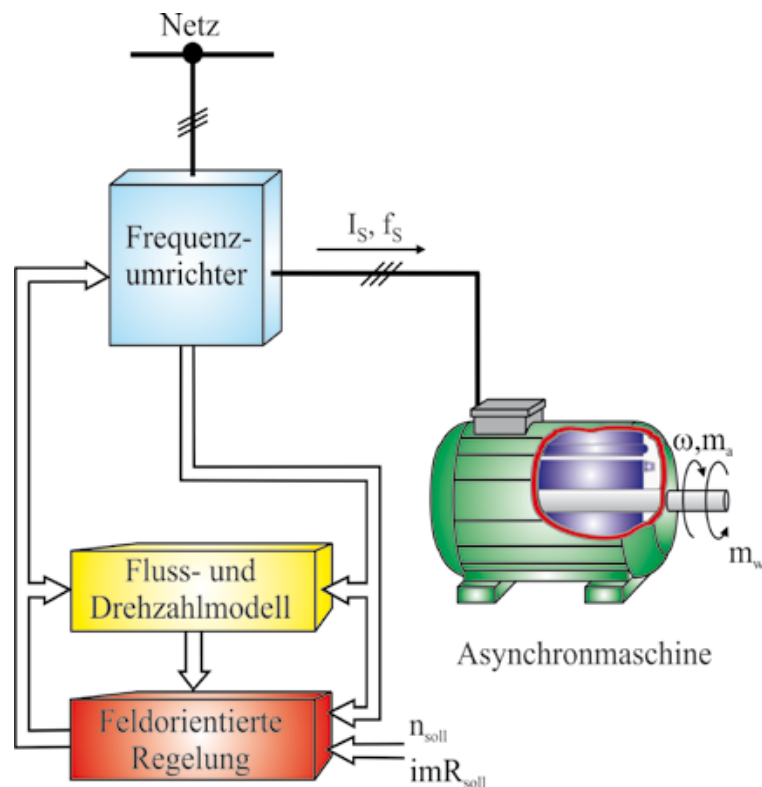


Abb.: System, sensorlos geregelte ASM

High-Speed DSP Rechnerkarte mit TI TMS320F-2812

Im Jahrbuch 2004 wurde erstmals eine DSP-Rechnerkarte mit dem TMS320F2812 vorgestellt. Die dazugehörige Schaltung wurde in den vergangenen zwei Jahren kontinuierlich weiter entwickelt und verbessert. Einzelheiten werden nachfolgend beschrieben.

Zentrale Bausteine der aktuellen Revision 2 sind der genannte DSP, sowie das Dualport von der Firma Cypress vom Typ „CY-7C057V“. Durch diesen Speicherbaustein ist es möglich, die Daten von zwei Seiten zu lesen und zu schreiben. Hierbei kann an die eine Eingangsseite des RAMs über einen Steckverbinder eine zusätzliche PCI-Controller-Karte angekoppelt werden, die es ermöglicht, das Gesamtsystem in einem PC oder IPC¹ einzusetzen. Die andere Eingangsseite des Speicherbausteins wird ausschließlich vom DSP gelesen oder beschrieben. Da die erste Revision aus dem Jahr 2004 einige Schwachpunkte in Bezug auf die Schnittstellen aufwies, wurden zunächst kleine Zusatzplatinen entwickelt, die je nach Bedarf über Steckverbindungen mit Flachbandleitungen an das DSP-PCB² angesteckt werden konnten. Der Praxiseinsatz zeigte, dass diese Zusatzkarten zukünftig fester Bestandteil des DSP-Boards sein müssten.

So wurde eine Schaltung zur Wandlung des DSP-SCI³-Signals in das beim PC weit verbreitete RS232-Signal integriert, so dass hierüber Daten empfangen und gesendet werden können. Außerdem wurde ein Konverter des SPI⁴-Signals zum RS485-Schnittstellenstandard in die Schaltung eingefügt.

Eine wesentliche Verbesserung im Vergleich zur Version von 2004 ist jedoch die Ergänzung der „Winkel-Geber“-Schaltung, die es unter Einbeziehung des Quadraturencoders (QEP-Einheit) des DSPs ermöglicht, die Sinus- und Cosinus-Spuren von bis

zu zwei angeschlossenen Motoren auszulesen und zu verarbeiten. Die verwendete Filterbeschaltung kann außerdem auch zur Erfassung von analogen Messwerten, wie z.B. Strömen und Spannungen verwendet werden, die dann vom internen 12 Bit-

AD-Wandler des DSP in ein Digitalsignal umgewandelt werden. Desweiteren gibt es nach wie vor eine analoge Filterung für bis zu acht Messsignale, wobei die Eingänge des Filters durch Jumper auch auf einen Differentialeingang konfigurierbar sind und es somit möglich ist, Signale im Bereich von -1,5 V bis +1,5 V zu erfassen.

Die Möglichkeit der 16 Bit-DA-Wandlung besteht weiterhin in Form einer steckbaren kleinen Zusatzkarte mit vier analogen Ausgängen (siehe Abb. 2, DAC-Karte ist im richtigen Größenverhältnis zu Abb. 1 dargestellt). Alle Signalpins des DSPs, wie z.B. das external Interface, SPI, SCI und JTAG, sind über Pfostenstecker nach außen geführt und leicht zugänglich.

Auch der Nachrüstung mit zusätzlichen Bauteilen wurde in Form von „Leergehäusen“ Rechnung getragen, diese sind als unbestückte SMD-Lötflächen in der Abbildung zu erkennen.



Abb. 1: High-Speed DSP-Rechnerkarte



Abb. 2: Steckbare 16 Bit DA-Wandler-Karte

Gegenwärtig wird an der dritten Revision des DSP-Boards gearbeitet, welches eine Zusammenführung mit der PCI-Controller-Karte bringen wird, so dass zukünftig jede „High Speed DSP-Karte“ bei Bedarf in einen PC eingebaut werden kann, ohne dass eine weitere Controller-Karte erforderlich ist! An der derzeitigen Größe von (120 x 191) mm wird sich durch diese Erweiterung nichts ändern.

- 1 IPC = Industrie-PC
- 2 PCB = Printed Circuit Board
- 3 SCI = Serial Common Interface
- 4 SPI = Serial Peripheral Interface

Inbetriebnahme- und Diagnosesystem zur prozeßangepassten Diagnose und Überwachung mit RT-Linux Betriebssystem

Für die am Institut entwickelte Mikrorechnerkarte mit einem TI-TMS320-F2812 Signalprozessor (DSP), ausgelegt zur Lösung von Aufgaben der elektrischen Antriebsregelung, ist in den vergangenen Jahren eine Ankopplung an den Standard *Peripheral Component Interconnect* Bus (PCI-Bus) entwickelt worden.

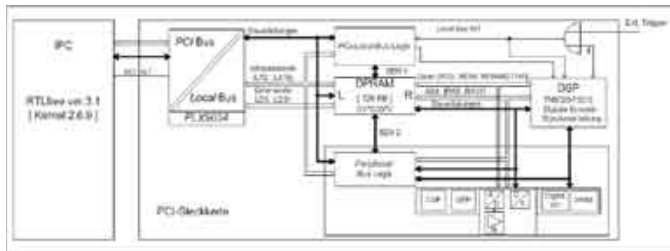


Abb. 1: Blockschaltbild der Kommunikationsstrecke zwischen IPC und Mikrorechnerboard

Mit Hilfe dieser Kommunikationsstrecke, bei deren Entwurf insbesondere auf eine harte Synchronisierung zwischen der DSP-Rechnerkarte und einem Industrie-PC (IPC) geachtet wurde, ist als erste Anwendung ein 16-Kanal Datenlogger entwickelt und fertiggestellt worden, welcher zu einem portablen Mess- und Diagnosesystem weiterentwickelt und ausgebaut wird. Nach dem Abschluss der ersten Realisierungsphase steht nun ein 16-kanaliges Datenloggersystem zur Verfügung, welches Analogsignale mit einer Summenabtastung von bis zu einem Megahertz quasikontinuierlich abtasten kann und die Daten



Abb. 2: Komponenten des Datenlogger und InDiaSys 2.0 Systems ohne Sensorik

vom DSP-Board zum IPC mittels des *Direct Memory Access* Verfahrens (DMA) überträgt. Die unverarbeiteten Daten werden dort kanalweise mit benutzerspezifischen Vorgaben und einem Zeitstempel auf

ein Ziellaufwerk geschrieben, welches sich im IPC selbst oder einem Rechner im Netzwerk befinden kann. Die generierten Messdaten werden anschließend analysiert und als Grundlage zur Entwicklung von Analyseverfahren und als Eingangsgrößen in ein mathematisch-physikalisches Modell benutzt. Mit Hilfe der gewonnenen Ergebnisse werden dann Programmroutinen zur Prozessanalyse und Überwachung für das echtzeitfähige RT-Linux basierte Diagnosesystem erzeugt. Das Mikrorechnersystem stellt eine Weiterentwicklung und Aktualisierung des bestehenden, in den vergangenen Jahren entwickelten Inbetriebnahme- und Diagnosesystems (InDiaSys) des IALB dar. Neben der Aktualisierung des RT-Linux Betriebssystems auf ein Gentoo-Linux der Kernelversion 2.6.9 mit Echtzeiterweiterung, existieren nun auch Treiber mit DMA-Transferfunk-

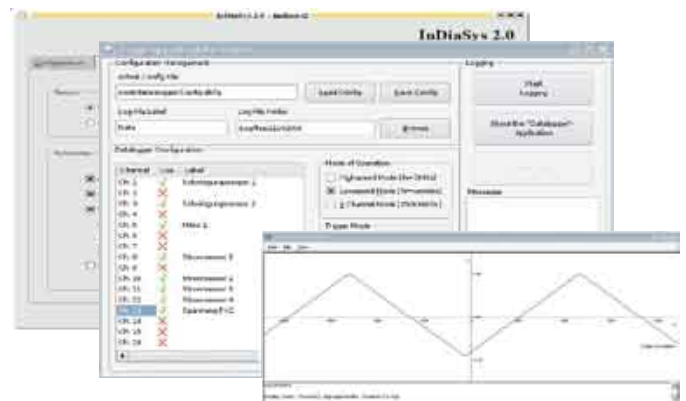


Abb. 3: Bedien- und Auswertesoftware des Datenloggers und InDiaSys 2.0

tionen zur Nutzung einer schnellen PCI-Kommunikation zwischen DSP-Board und IPC-Rechner. Eine weitere wesentliche Neuerung zum *InDiaSys* der ersten Version ist die Möglichkeit, das gesamte Betriebssystem samt Anwendersoftware von einer Flashdisk zu starten. Darüber hinaus soll das Diagnosesystem durch Analyseverfahren, basierend auf der Wavelettransformation erweitert werden. Ein neuer Ansatz bei der Wavelettransformation, bei dem das einzusetzende Basis-Wavelet direkt aus einer für die jeweilige Überwachungsaufgabe relevanten Signaleinprägung generiert wird, stellt die erste Erweiterung der Verfahren zur Analyse und Überwachung von Prozessen dar. Mit diesen sogenannten prozessangepassten Wavelets (Selflets) soll die Fähigkeit der Kreuzkorrelation zur Aufdeckung von Signalverwandtschaften verbunden werden mit einer Frequenzauflösung nach dem Vorbild der Wavelettransformation.

Entwurf eines Fahrtriebs für eine Hub-Arbeitsbühne: Transversalflussmaschine mit innovativen Werkstoffen

Elektrische Maschinen spielen bei der Erzeugung von Bewegungen eine bedeutende Rolle. Ihre Anwendungsgebiete reichen von industriellen Maschinen und Anlagen über Automobiltechnik, medizinische Geräte bis hin zu Hausgeräten für den täglichen Gebrauch. Darüber hinaus wird auch mit den Generatoren in modernen Windenergieanlagen zunehmend dieselbe Technologie zur Umwandlung der windabhängigen, mechanischen Energie in netzkonforme elektrische Energie eingesetzt. Elektrische Antriebe bilden damit eine Querschnitts- und Schlüsseltechnologie, deren Innovation die Voraussetzungen für neue Systemlösungen in vielen anderen Technologiefeldern ist.

Die Randbedingungen für die Entwicklung elektrischer Maschinen stehen momentan vor starken Veränderungen. Zurzeit eröffnen auf diesem Gebiet neuartige weichmagnetische und permanentmagnetische Werkstoffe sowie nichtmagnetische Materialien weitere Freiheitsgrade bei der Auslegung und Konstruktion. Um die so entstehenden Möglichkeiten optimal auszunutzen, müssen die Eigenschaften dieser Werkstoffe im Hinblick auf den Maschinenentwurf weiter untersucht und in den Maschinenentwurf integriert werden.

In diesem Projekt wird in Zusammenarbeit mit einem Motorenhersteller und einer Firma, die Hub-Arbeitsbühnen vertreibt, das Know-how des IALB aus unterschiedlichen Fachgebieten zusammengeführt, um Fahrtriebe für eine Hub-Arbeitsbühne (Abb. 1) zu entwerfen und zu untersuchen. Der Einsatz von innovativen Werkstoffen in Verbindung mit der Transversalfluss-Technik ermöglicht es, eine Maschine zu entwerfen, die den Leistungsanforderungen einer solchen Arbeitsbühne gerecht wird. Transversalflussmaschinen können bei vergleichsweise kompakter Bauweise ein sehr hohes Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen liefern, so dass man auf ein Getriebe verzichten kann. Durch den Einsatz neuartiger Werkstoffe ist man beim Maschinenentwurf nicht mehr an konventionelle Geometrien gebunden, außerdem können durch spezielle Werkstoffeigenschaften die Verluste einer elektrischen Maschine wesentlich verringert werden (Abb. 2).

Aufgrund der komplexen Geometrie des Magnetkreises einer Transversalflussmaschine wird für den Entwurf eine dreidimensionale Feldberechnungssoftware verwendet. Mit Hilfe der Finite Elemente Methode werden so Schwachstellen im Maschinenentwurf aufgespürt, um später beim Bau der Prototypen optimale Ergebnisse zu erzielen.



Abb. 1: Diese fahrbare Hub-Arbeitsbühne wird zur Zeit von zwei Gleichstrommaschinen mit Getriebe angetrieben. Hier sollen Transversalflussmaschinen zum Einsatz kommen.

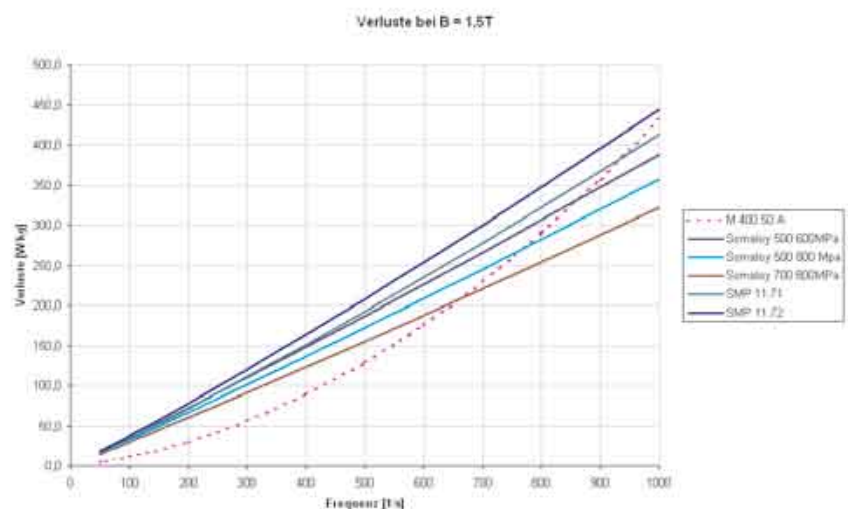


Abb. 2: In Elektroblechen (gestrichelt) steigen die Verluste quadratisch mit der Frequenz. Die Vorteile der Pulververbundwerkstoffe zeigen sich bei höheren Frequenzen oder bei einer dreidimensionalen Flussführung, wie sie bei der Transversalflussmaschine verwendet wird.

Berührungslose Energieübertragung für elektromechanische Systeme

Der Trend zur Automatisierung industrieller Prozesse bewirkt, dass immer mehr elektromechanische Systeme ihren Einsatz in industriellen Anlagen finden. Die Übertragung der Energie und der Signalaustausch zwischen stationären und bewegten Komponenten erfolgen in den meisten Systemen durch Kabel, die in speziellen Kabelführungen gelagert und ständig ruckartigen Bewegungen ausgesetzt sind. Bedingt durch die dauerhafte Belastung stellen diese Kabelverbindungen eine Fehlerquelle dar. Stillstand der Anlagen aufgrund von Kabelbrüchen gehört zu den häufigsten Ursachen bei einer Anlagenstörung. Auf der anderen Seite gibt es einige mechanische Konzepte, die bisher nicht realisiert werden konnten,

Die besonderen Kernkompetenzen auf diesem Gebiet sind:

- I. Dimensionierung der elektromagnetischen Kopplungseinheit:
 - Applikationsbezogener Entwurf des weichmagnetischen Kerns
 - 3-dimensionale Finite Elemente Berechnung
 - Optimierung der magnetischen Felder
- II. Optimierung des Wirkungsgrades:
 - Entwurf der Resonanzschaltung und Blindleistungskompensation

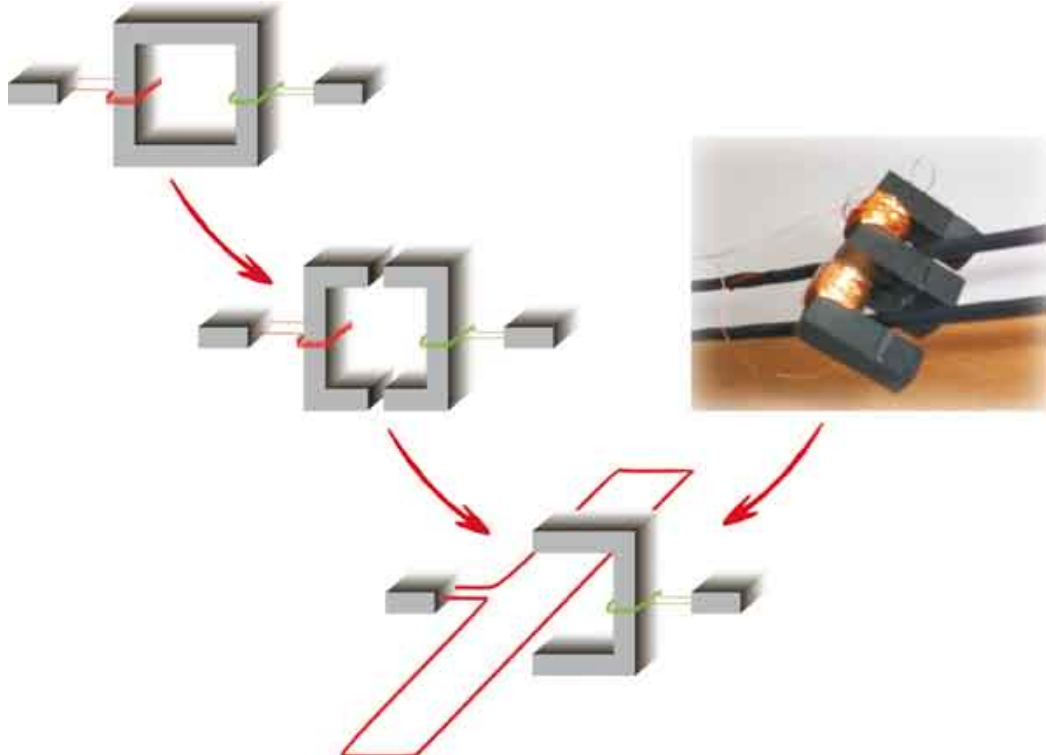


Abb.: Vom Transformator zur kontaktlosen Energieübertragung

da die Führung der notwendigen Kabel und das erforderliche Bewegungsprofil sich nicht miteinander vereinbaren ließen.

Das Institut für elektrische Antriebe, Leistungselektronik und Bauelemente (IALB) der Universität Bremen beschäftigt sich mit der Entwicklung, Optimierung und Realisierung von kontaktlosen Energieübertragungssystemen basierend auf induktiver Energiekopplung bis zu 2 kW für den Einsatz in dynamischen elektromechanischen Systemen wie Robotern und Manipulatoren.

Zu Forschungszwecken wurde eine lineare Übertragungsstrecke aufgebaut. Sie besteht primärseitig aus einer langen Spule ohne Kern, die von einem rechteckförmigen Wechselstrom mit hoher Frequenz (20 kHz) versorgt wird. Die Sekundärwicklung ist auf einem Kern aus weichmagnetischem Material gewickelt und kann entlang der Wicklung der Primärseite bewegt werden.

Transversalflussmaschine als Direktantrieb für den Einsatz in Manipulationssystemen

Die Anforderungen an Roboter und Manipulationssysteme beim Einsatz in industriellen Prozessen steigen ständig. Neben der Erfüllung der Funktionalität ist eine wichtige Anforderung die Verkürzung der Taktzeiten und die Reduzierung der Produktionskosten. Werden diese Anforderungen auf die einzelnen Elemente der Manipulatoren übertragen, ergibt sich ein Bedarf an zuverlässigen und hoch-dynamischen Antrieben.

Um das notwendige Bewegungsprofil - hohes Drehmoment kombiniert mit niedriger Drehzahl - zu erzeugen, werden in den meisten Anwendungen Antriebe bestehend aus konventionellen Drehstrommaschinen und Getrieben eingesetzt. Probleme, die

- Reduzierung der Anzahl der einzusetzenden Getriebe bzw. - bei vielen Anwendungen - völliger Verzicht auf Getriebe,
- Reduzierung des Antriebsvolumens und -gewichts,
- Erhöhung der Systemdynamik und des Gesamtwirkungsgrades und
- Erhöhung der Systemzuverlässigkeit sowie Reduzierung der Wartungskosten.

Das Institut für elektrische Antriebe, Leistungselektronik und Bauelemente (IALB) der Universität Bremen beschäftigt sich mit dem Entwurf von permanentmagnetisch erregten Transversalflussmaschinen

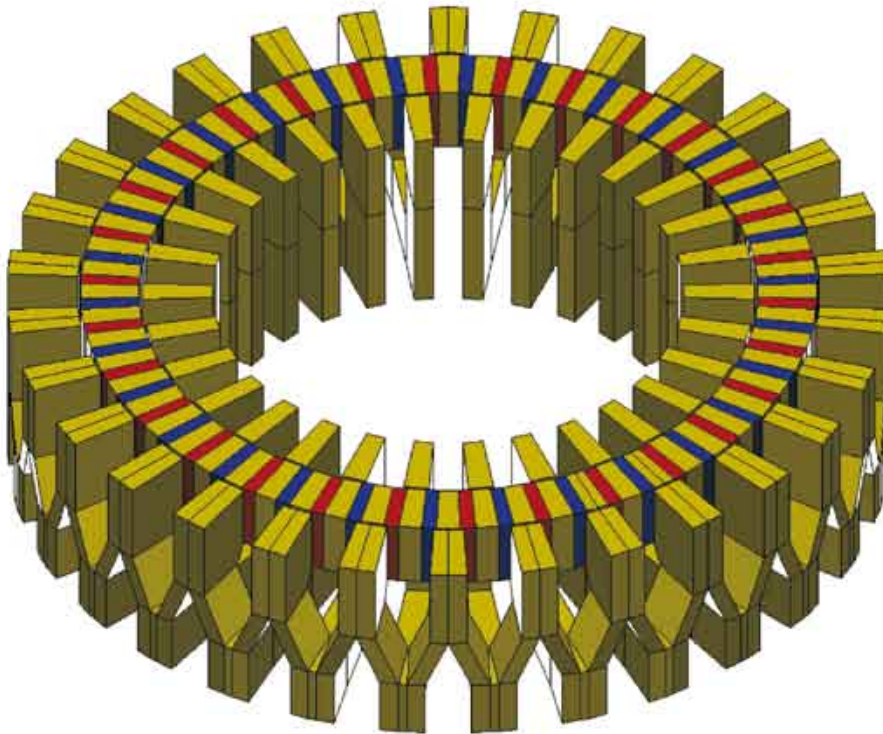


Abb. 1: Permanentmagnetisch erregte Transversalflussmaschine mit Innenrotor

hierbei auftreten, sind höherer Instandhaltungsaufwand, höherer Gewichts- und Volumenbedarf und höhere Kosten. Eine Alternative stellt der Einsatz von neuartigen elektrischen Maschinen unter Verwendung des Transversalflussprinzips dar. Die Vorteile, die sich dabei ergeben, sind:

- Entwicklung von Maschinen mit sehr hohen Drehmomentdichten,

und Transversalflussreluktanzmaschinen. In einer spezialisierten Arbeitsgruppe werden die anwenderspezifische Berechnung und Optimierung von Transversalflussmaschinen vorgenommen, die 3-dimensionale Berechnung der magnetischen Felder in der Maschine durchgeführt, analytische und numerische Modelle der Transversalflussmaschine erstellt und Analysen der auftretenden Drehmomentkomponente gemacht.

Parameteridentifikation und schwingungsarme Regelung von Transversalflussantrieben

Heutzutage werden Servoantriebe immer häufiger in Direktantriebsanwendungen in industriellen Produktionsanlagen eingesetzt. Dabei werden meistens spezielle Antriebe basierend auf konventionellen Konzepten als High-Torque-Lösungen oder umfangreiche Getriebeleistungen mit Normmotoren verwendet.

Für den Einsatz als Direktantrieb ist ein schwankungsarmes Drehmoment an der Welle jedoch Voraussetzung, und für Servomotoren kommt die Anforderung guter Positionierbarkeit hinzu. Deshalb ist eine besondere Regelung der Transversalflussmaschine, mit der die Momentschwankungen und die Normalkraftschwankungen minimiert werden, eine notwendige Weiterentwicklung zur Anwendbarkeit dieses Maschinentyps.

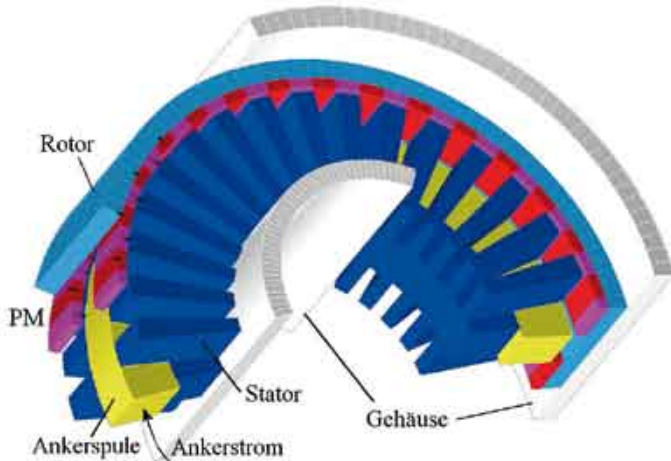


Abb. 1: Aufbau einer Transversalflussmaschine

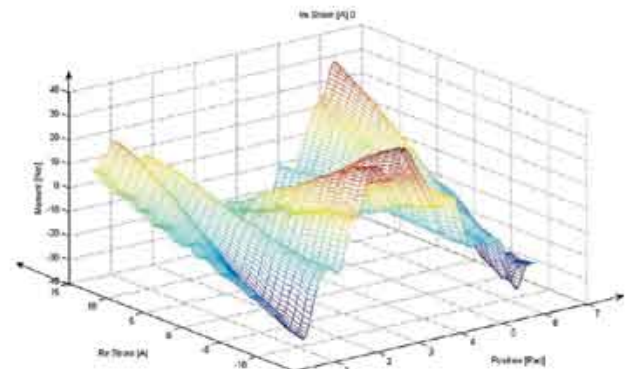


Abb. 3: Identifiziertes Drehmoment

Eine Alternative hierzu ist die Transversalflussmaschine, die gegenüber den herkömmlichen Drehfeld- und Gleichstromantrieben eine grundsätzlich andere Topologie aufweist. Dieses Maschinenkonzept stellt prinzipbedingt hohe Drehmomente bei niedrigen Drehzahlen und kleiner Bauform mit entsprechend niedrigem Gewicht bereit. Die Hauptnachteile, die bislang einem Einsatz entgegenstehen, sind die hohe Drehmomentwelligkeit und die Normalkraftschwankungen, die zu Geräuschen und Vibrationen führen.

Dieses Regelungskonzept soll basierend auf einer Identifikation der Maschinenparameter auch unbekannte Transversalflussmaschinen betreiben können. Dazu ist ein übergreifendes analytisches Modell der verschiedenen Bauformen entworfen und mit einem FE-Simulationstool verifiziert worden. Das Regelungskonzept selbst basiert auf einer Vorsteuerung mit optimierten Stromformen. Für die praktische Verifikation existiert ein Maschinenprüfstand.

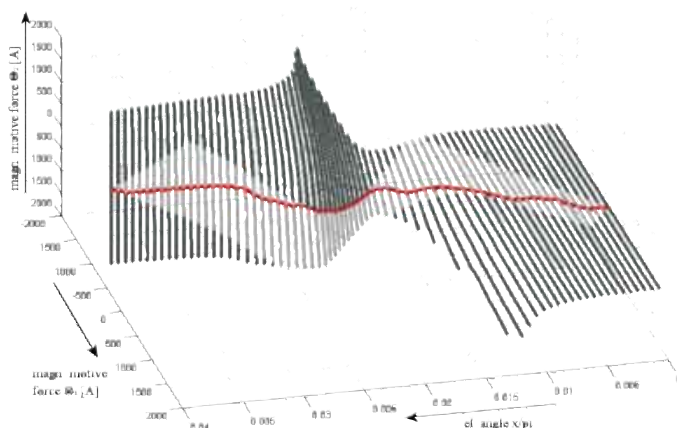


Abb. 2: Findung einer optimalen Momentensteuerung aus Simulationsdaten



Abb. 4: Maschinenprüfstand

Robuste, H_∞ -optimale PI-Kaskadenregelung für Mehrmassen-Systeme

Eine wichtige und häufig auftretende regelungstechnische Aufgabe ist die Regelung eines Mehrmassen-Systems. Solche Systeme sind z. B. in Walzwerken, in der Robotik oder in Werkzeugmaschinen zu finden. Mehrmassen-Systeme in der Antriebstechnik bestehen z. B. aus einer Lastmasse, einem Getriebe, einem Antriebsmotor, Kupplungen, Wellen, Spindeln usw. Die Wellen können als elastische Torsionfedern aufgefasst werden, die das Gesamtsystem schwingfähig machen. Abb. 1

zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Systems.

In vielen Fällen sind die Parameter des Systems nicht genau bekannt. Diese Parameterunsicherheiten machen die Regelung solcher Systeme zusätzlich schwierig. Eine robuste Regelung ist daher wünschenswert. Ein leistungsfähiges Werkzeug, um dieses Problem zu lösen, ist eine robuste H_∞ -Regelung, da sowohl Parameter- als auch Strukturunsicherheiten berücksichtigt werden können. Jedoch erweist sich die Umsetzung dieser mathematisch komplizierten Methode für praktische, industrielle Anwendungen als ziemlich aufwendig. PI-Kaskadenregelungen sind dagegen in der Praxis weit verbreitet und häufig auch schon in den Antriebssystemen integriert. Es liegt daher nahe, die bekannte Struktur der PI-Kaskadenregelung beizubehalten, die Reglerparameter aber so anzupassen, dass sich dennoch eine robuste Regelung ergibt. Die Anforderungen an die Robustheit und die Dynamik des geregelten Systems werden dazu wie bei der konventionellen H_∞ -Regelung durch frequenzabhängige Gewichtungsfunktionen gestellt. Die H_∞ -Norm des um diese Gewichtungsfunktionen erweiterten, geregelten Systems ist dann ein Maß für die Güte der Regelung.

Aufgabe war es nun, die Parameter einer PI-Kaskadenregelung so zu bestimmen, dass das Gütemaß minimal wird. Diese Optimierung erfolgte mit Hilfe genetischer Algorithmen. Genetische Algorithmen zählen zu den evolutionären Algorithmen, die die

Prinzipien der Evolution zur Lösungsfindung verwenden: Für eine zufällig gewählte Menge (Population) von Reglerparametersätzen (Individuen) wird ihre Güte (Fitness) berechnet. Aus diesen werden „Elternpaare“ ausgewählt, aus denen neue Parametersätze (Kinder) berechnet werden. Anschließend werden die schwächsten Individuen der Elterngeneration durch die besten Kinder ersetzt. Für diese neue Generation wird dieses Verfahren nun solange wiederholt, bis ein Abbruchkriterium erfüllt ist. Das beste Individuum der letzten Population ist dann der gesuchte, optimierte Parametersatz.

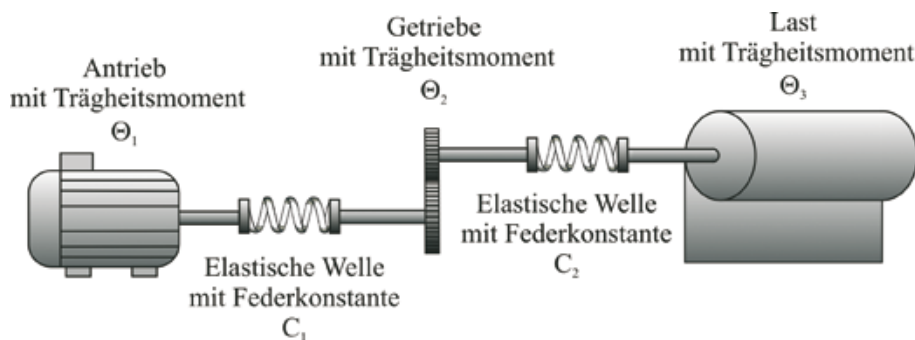


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau eines Mehrmassensystems

Für die messtechnische Überprüfung des so entworfenen Reglers wird ein Dreimassen-Prüfstand, wie er in Abb. 2 zu sehen ist, verwendet.

Der Prüfstand besteht aus einem Antriebs- und einem Lastmotor, sowie einer mittleren Schwungmasse.

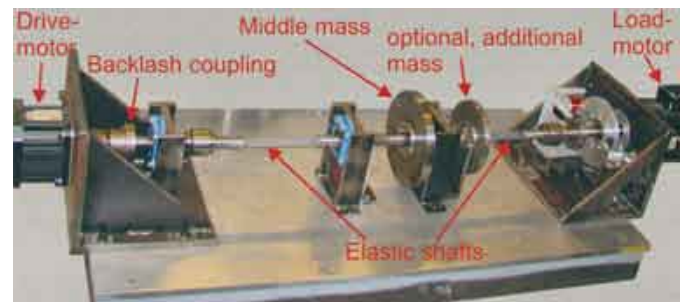


Abb. 2.: Dreimassenprüfstand

Der Antriebsmotor ist durch eine Losekupplung und eine Torsionswelle mit der Schwungmasse verbunden. Diese ist über eine weitere Torsionswelle mit dem Lastmotor verbunden. Die optimierte Regelung wurde an diesem Dreimassenprüfstand getestet und zeigte gute und robuste Ergebnisse.

Damit steht ein Verfahren zur Verfügung, die bekannte Struktur einer PI-Kaskadenregelung mit der Robustheit einer H_∞ -optimalen Regelung zu verbinden.

EMV in der Leistungselektronik

Ein weiteres Themengebiet, mit dem sich das IALB befasst, ist die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) von leistungselektronischen Schaltungen. Die EMV gewinnt immer mehr an Bedeutung, da die Anzahl der elektrischen/elektronischen Geräte in den letzten Jahren stark angestiegen ist und somit die Gefahr, dass sich die Geräte gegenseitig stören, ebenfalls steigt. Nicht zuletzt das „Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten“, das 1992 in Deutschland eingeführt wurde, zeigt, wie wichtig die Thematik EMV geworden ist. In der Leistungselektronik treten besonders Frequenzumrichter als Störquellen auf. Die Ursache dafür sind die immer größer werdenden Schaltleistungen bei immer kürzeren Schaltzeiten. Diese schnell schaltenden leistungselektronischen Systeme erzeugen ein breites Spektrum elektromagnetischer Störungen. Die abgestrahlten Störungen können bei Frequenzumrichtern vernachlässigt werden, solange die Abmessungen eines wechsellspannungsführenden Leiters deutlich kleiner sind als die Wellenlänge der abgestrahlten elektromagnetischen Welle. Die Normen berücksichtigen deshalb auch hauptsächlich leitungsgebundene Störungen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz.

Das IALB verfügt über einen EMV-Messplatz mit einer entsprechenden Messgeräteausstattung, mit der die Messungen in den von den Normen geforderten Messbereichen durchgeführt werden. Darüber hinaus können auch zur Störungslokalisierung abgestrahlte Störungen mit speziellen Messsonden gemessen werden. Über eine Netznachbildung und einen entsprechenden Funkstörmessempfänger können die leitungsgebundenen Störungen gemessen und über eine spezielle Software entsprechende Auswertungen der Messungen vorgenommen werden.

Bei den leitungsgebundenen Störungen unterscheidet man zwischen symmetrischen, unsymmetrischen

und asymmetrischen Störungen.

Diese Unterscheidung ist sehr wichtig, um die Ursachen dieser Störungen zu ermitteln, da diese Störungen von unterschiedlichen Komponenten des Frequenzumrichters verursacht werden.

Am IALB wurde eine Erweiterung der Netznachbil-



Abb. 1: EMV-Messplatz

dung erarbeitet, die einen Anschluss eines Gleichtakt-Gegentakt-Analysators ermöglicht, so dass die verschiedenen Störungsarten direkt gemessen werden können.

Damit diese sich nicht in das speisende Stromnetz ausbreiten, werden am IALB geeignete Filtermaßnahmen entwickelt. Zusätzlich wird daran gearbeitet, dass die Ursachen für die Störungen bereits bei der Frequenzumrichterentwicklung mit berücksich-

tigt werden, um spätere Filtermaßnahmen reduzieren zu können.

Mit dem EMV-Messplatz aus Abb. 1 lassen sich z. B. die abgestrahlten Störungen eines Frequenzumrichters untersuchen. In Abb. 2 ist die Messung eines abgestrahlten elektrischen Spektrums

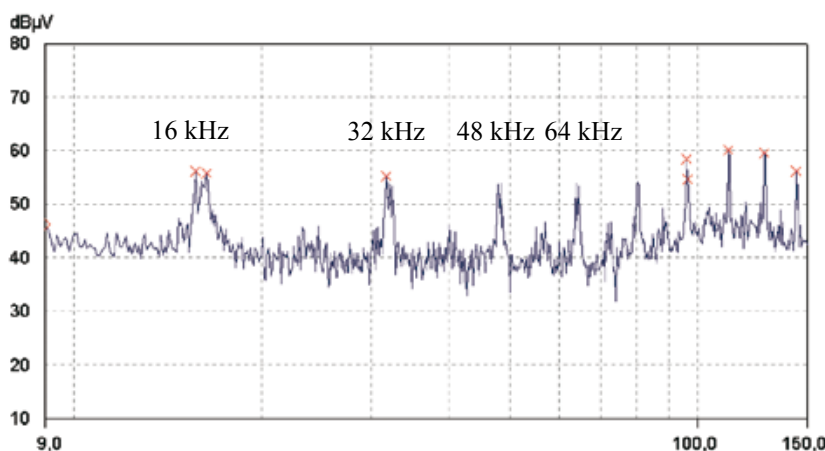


Abb. 2: EMV-Messung an einem 16 kHz Frequenzumrichter

eines mit 16 kHz getakteten Frequenzumrichters dargestellt. Es sind dabei deutlich die Schaltfrequenz und deren Vielfache zu erkennen.

Simulation von leistungselektronischen Schaltungen

Bei jeder Neuentwicklung von leistungselektronischen Komponenten, wie beispielsweise Frequenzumrichtern, spielen Simulationsprogramme eine wesentliche Rolle. In der Regel werden entsprechend den leistungselektronischen Anforderungen die einzelnen Komponenten eines Frequenzumrichters zunächst ausgelegt und anschließend simuliert, um das berechnete Verhalten des Frequenzumrichters zu bestätigen. Durch die genauen Modelle von leistungselektronischen Schaltungen und leistungsfähigen Simulationswerkzeugen ist es möglich, eine präzise Vorhersage über die Funktion der Schaltung zu treffen. So konnte z. B. die Parallelschaltung von zwei Wechselrichtern (Abb. 1) simuliert werden, bevor der Aufbau realisiert wurde. Auch sehr komplexe Regelungen können mit Hilfe von Simulationsprogrammen nachgebildet werden und an der simulierten leistungselektronischen Schaltung direkt getestet werden. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass die Parameter der Regelung beliebig variiert werden können, ohne die Schaltungen dabei zu zerstören oder Menschen in Gefahr zu bringen. Das Regelverhalten kann sofort dargestellt und die Regelung kann problemlos optimiert werden.

Zudem werden Kosten gespart, da beliebige Varianten simuliert werden können, ohne die Schaltung jeweils neu aufzubauen. Der endgültige Aufbau einer leistungselektronischen Schaltung und die Implementierung der entsprechenden Re-

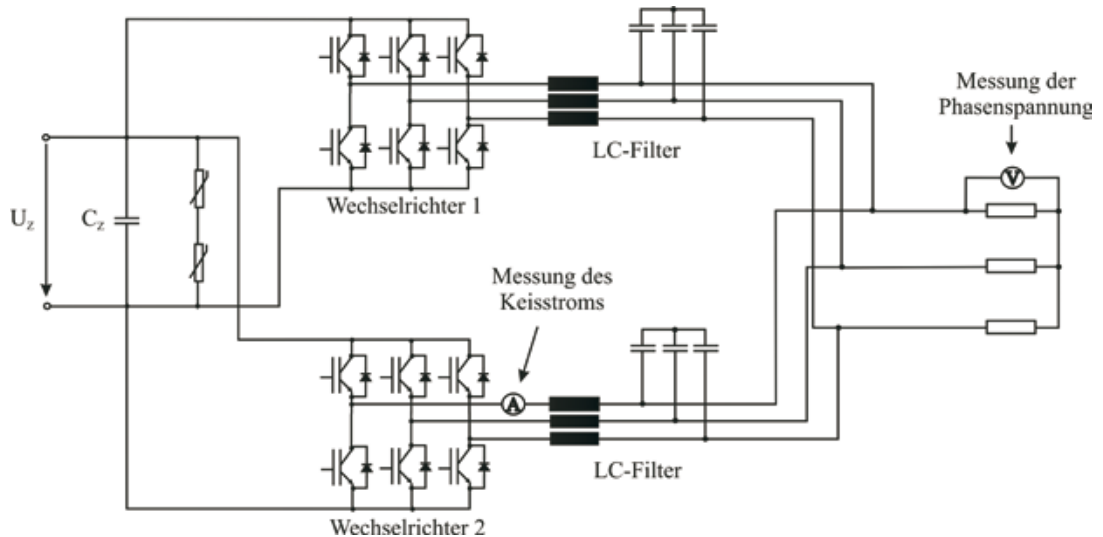


Abb. 1: Parallelschaltung von Wechselrichtern mit gemeinsamen Zwischenkreis

gelung finden erst statt, wenn die Simulationen die korrekte Funktion der Schaltung nachweisen.

Durch die exakten Simulationsmodelle ist es möglich, die Schaltung entsprechend der simulierten Schaltung nachzubilden. In Abb. 2 ist der direkte Vergleich zwischen Simulation und Messung dargestellt. Hier wurden die Kreisströme in dem oben abgebildeten Wechselrichtersystem gemessen und simuliert, die bei der Parallelschaltung von Wechselrichtern auftreten können. In Abb. 2 ist zu sehen, dass die Messungen am realen Aufbau sehr gut mit der Simulation übereinstimmen.

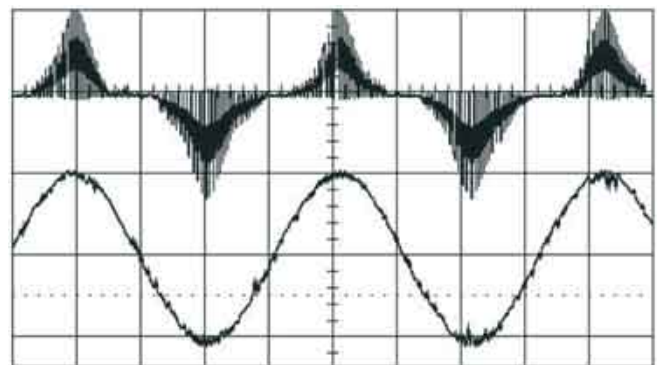
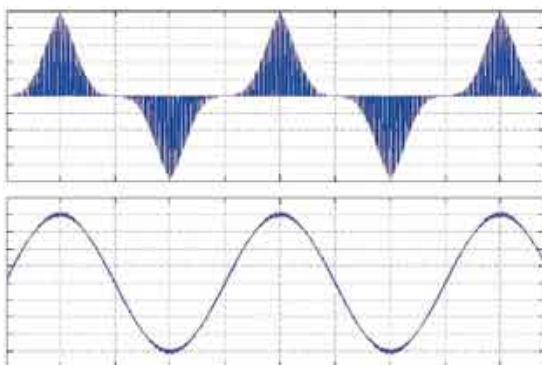


Abb. 2: Simulation (links) und Messung (rechts) eines Kreisstromes (oben) und einer Phasenspannung (unten)

Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) für Offshore Windparks

Der Anteil der Windenergie an der Stromerzeugung ist in den letzten Jahren stark gestiegen. Bis heute findet die Energieerzeugung aus Wind fast ausschließlich an Land statt. Doch für die Zukunft sind bereits mehrere Offshore-Projekte auf See geplant und zum Teil auch genehmigt. Diese Offshore-Windparks haben eine Entfernung von bis zu 200 km vom Festland und dabei installierte Leistungen, die denen eines Großkraftwerks im Bereich 1 GW entsprechen.

Das IALB befasst sich in diesem Zusammenhang mit der Thematik der Energieübertragung von Offshore-Windparks zum Festland.

Eine viel versprechende Möglichkeit um die große

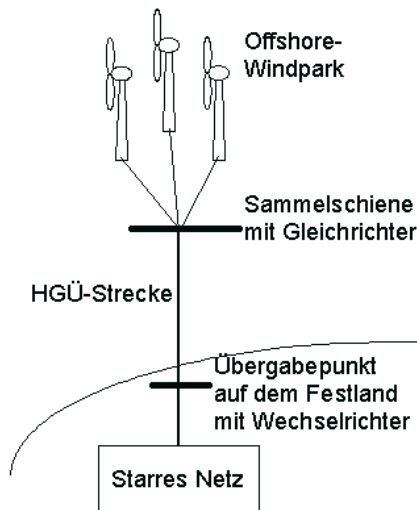


Abb. 1: Energieübertragung von Offshore-Windparks

Leistung der Windparks von der See zum Festland zu transportieren, ist die Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ), wie sie in Abb. 1 skizziert ist. Im Vergleich zur Drehstromübertragung, wie sie auf dem Festland eingesetzt wird, gibt es hier keine Probleme mit Blindleistung und zum anderen müssen weniger Kabel im Meer verlegt werden.



Abb. 4: Offshore Windpark Horns Rev
(Quelle: Landesregierung Schleswig-Holstein)

Es gibt prinzipiell zwei unterschiedliche Techniken zur Realisierung einer HGÜ-Strecke.

Die klassische HGÜ in Abb. 2 ist mit Thyristoren als Halbleiterschalter aufgebaut. Diese Technik ist für sehr große Leistungen verfügbar, hat aber einen Blindleistungsbedarf und erzeugt Oberwellen im Netz.

Eine neuere Form von Hochspannungsgleich-

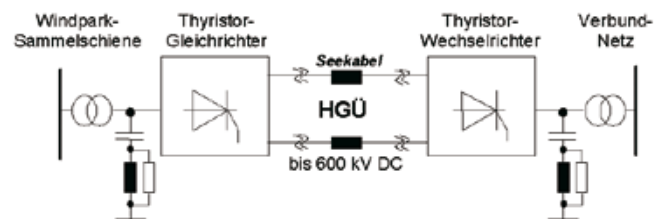


Abb. 2: Thyristor-HGÜ

stromübertragung ist mit dem Einsatz von IGBT als Halbleiterschalter aufgebaut. Eine solche IGBT-HGÜ-Stecke ist in Abb. 3 zu sehen.

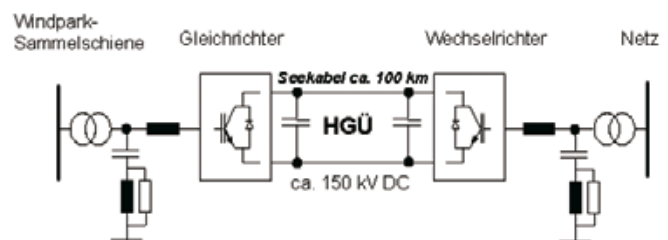


Abb. 3: IGBT-HGÜ

Diese HGÜ hat Vorteile in der Qualität der eingespeisten Leistung und bietet außerdem die Möglichkeit des bidirektionalen Energieflusses zur Versorgung des Windparks mit Energie im Falle einer Störung oder in Zeiten von Windstille. Der Einsatz geeigneter Kabel ist dabei auch ein Thema, mit dem sich das IALB befasst.

Parallelschaltbarkeit von Wechselrichtern zur Versorgung von elektrischen Inselnetzen

Eine sichere wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung ist das Rückgrat jeder modernen Volkswirtschaft. In den Entwicklungsländern ist dies jedoch größtenteils nicht gegeben. Da es dort kein flächendeckendes Verbundnetz gibt, ist eine Energieversorgung nur über so genannte dezentrale Inselnetze möglich. Das IALB beschäftigt sich mit der Regelung solcher Inselnetze, die von mehreren Einspeiseeinheiten aus vorwiegend regenerativen Quellen gespeist werden.

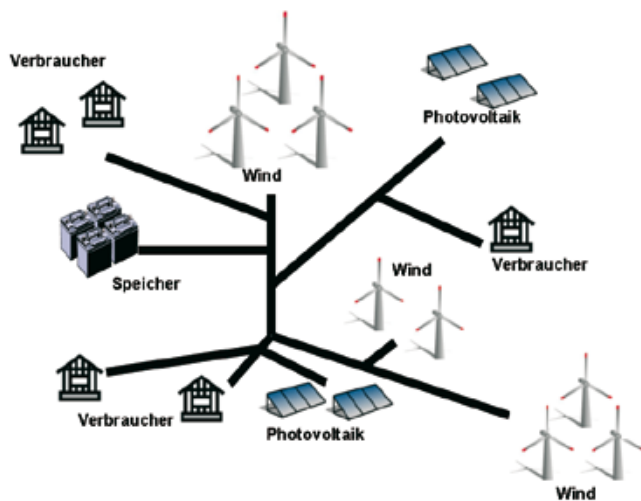


Abb. 1: Beispielhafte Struktur eines Inselnetzes

In Abb. 1 ist beispielhaft der Aufbau eines solchen Inselnetzes zu sehen. Die Einspeiseeinheiten speisen die z. B. aus der Sonne oder dem Wind gewonnene Energie über Frequenzumrichter ins Netz. Es entsteht also eine Parallelschaltbarkeit mehrerer Wechselrichter, die aufgrund der geringen Zeitkonstanten dieser Systeme eine schnelle Regelung erfordern.

Außerdem sollen die verwendeten Einspeiseeinheiten eine möglichst große Modularität und Redundanz aufweisen.

Es könnte schließlich ein System entwickelt werden, das gänzlich auf Kommunikationsverbindungen der einzelnen Einspeiseeinheiten verzichtet, so dass weitere Einspeiseeinheiten jederzeit dem Netz zugeschaltet werden können. Damit ist die Realisierung eines Inselnetzes nach dem „Plug & Generate“ Prinzip möglich.

In Abb. 2 ist die Messung der Lastaufteilung beim Zuschalten einer zweiten Einspeiseeinheit zu sehen. Nachdem anfangs die Einspeiseeinheit 1 die gesamte Leistung übernimmt (P_{WR1}), wird die Leistung nach dem Zuschalten der zweiten Einspeiseeinheit zu gleichen Teilen zwischen den beiden Einspeiseeinheiten aufgeteilt (P_{WR1} und P_{WR2}). Darunter sind der Strom der zweiten Einspeiseeinheit und die Netzspannung zu sehen.

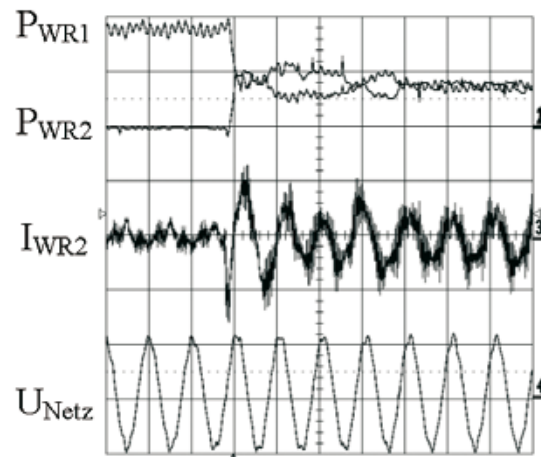


Abb. 2: Lastaufteilung beim Zuschalten einer zweiten Einspeiseeinheit

Abschließend sind jeweils die drei Netzspannungen des Inselnetzes bei einer unsymmetrischen Belastung zu sehen. In Abb. 3 links ist der Nullleiter des Netzspannungssystems nicht geregelt und rechts wird die Spannung im Nullleiter zu Null geregelt. Die Netzspannung ist in der linken Abbildung noch unsymmetrisch in Betrag und Phase und in der rechten Abbildung ergibt sich wieder ein symmetrisches Drehspannungssystem.

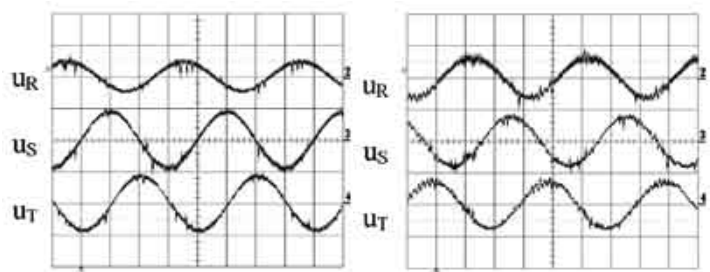


Abb. 3: Dreiphasige Spannung eines unsymmetrisch belasteten Netzes (links ohne und rechts mit Regelung des Nullleiters)

Entwicklung und Entwurf eines permanenterregten Transversalflussmotors als Radnabenantrieb für mobile Plattformen

Die neue Anordnung eines zweisträngigen Transversalflussmotors als Außenläufer befindet sich in der Entwurfphase und sieht den Einbau des Antriebsmotor als Direktantrieb in die Radfelge vor. Dieser Motortyp wird für fahrbare mechatronische Anwendungen mit dem Fokus auf kleinen Betriebsdrehzahlen, wie z.B. in Automated Guided Vehicles (AGVs) passend konzipiert und entworfen. Abbildung 1 soll eine Vorstellung von der Funktionsweise eines solchen Antriebssystems vermitteln. Die mobile Plattform ist mit vier nicht gekoppelten Transversalflussmaschinen ausgestattet, die als Radnabeninnenantrieb ohne Differenzialgetriebe laufen. Für eine korrekte

und gleichmäßige Bewegung werden die Motoren über eine zentrale Steuerungseinheit synchronisiert. Die erforderliche Energie für die vier Motoren wird über einen Umrichter bereitgestellt. Die vorgeschlagene Anordnung des Transversalflussmotors soll eine Drehmomenterhöhung gegenüber Standardanordnungen basierend auf konventionellen Maschinenkonzepten in einer kompakten Bauweise erlauben. Die hauptsächlichen Entwurfsbegrenzungen hängen vom Radgewicht, verfügbarem Bauvolumen in der Felge und mit dem im langsamen Betrieb verfügbaren Anfahrtdrehmoment zusammen. Die Reduzierung der auf die Räder bzw. Radlager wirkenden Normalkräfte wird bei der Durchführung des Entwurfs besonders berücksichtigt. Der Magnetkreisentwurf der Maschine ist für eine

doppelte Polteilung in Abbildung 2 dargestellt. Die Dauermagneten im Außenläufer sind in Flusskonzentrationsrichtung aufgebaut und deshalb alternierend magnetisiert angebracht. Bei der vorliegenden speziellen Anordnung der Statorzähne wird die Phasenwicklung in den Leerraum zwischen dem

oberen und mittleren Zahn und zurück zwischen dem mittleren und unteren Zahn angeschlossen. Jede Phase ist aufgeteilt in zwei Abschnitte, es befinden sich also vier Wicklungen verteilt auf dem Umfang des Ständerkreises. Die Abschnitte die zu jeder Phase gehören sind auf dem Umfang einander gegenüber angeordnet. Zwei Phasen sind um 90 Grad verschoben, um einen festgelegten Start der Ma-

schine zu ermöglichen. Die Finite-Element-Methode ermöglicht das Modellieren der komplizierten Maschinengeometrie in 3D, unter Berücksichtigung der Nichtlinearitäten von verschiedenen Materialien. Die Computersimulationen werden mit dem FEM-Programm Flux3D vorgenom-

men. Die Hauptaufgaben der Finiten-Element-Simulation sind die Analysen der Flussdichte, Drehmomente, Induktivitäten und Wirbelstromverluste. Momentan sind eine Reihe von Auswahlmöglichkeiten und Entscheidungen bezüglich der Struktur der Maschine insbesondere in Bezug auf die Größe der

Ständerzähne und ihren Verbindungen zum Ständerkern in der Erforschung. Die Wirkung der Rotor-Geometrie bezüglich der Höhe und Breite der Permanentmagneten ist ebenfalls Bestandteil laufender Arbeiten.

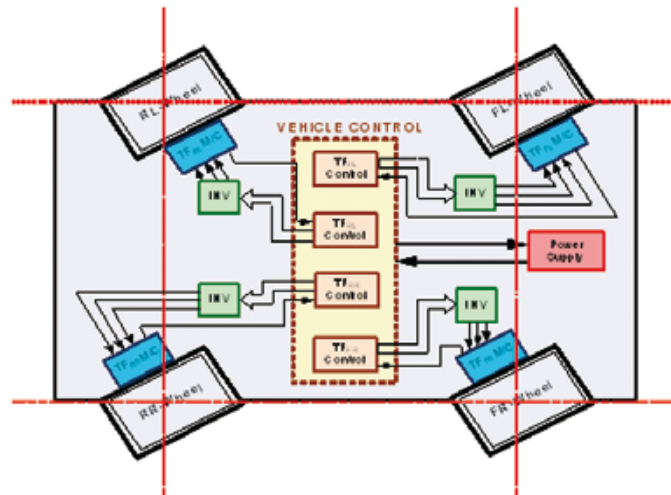


Abb. 1: Mobile Plattform mit vier Transversalfluss-Radnabenantrieben als Langsamläufer

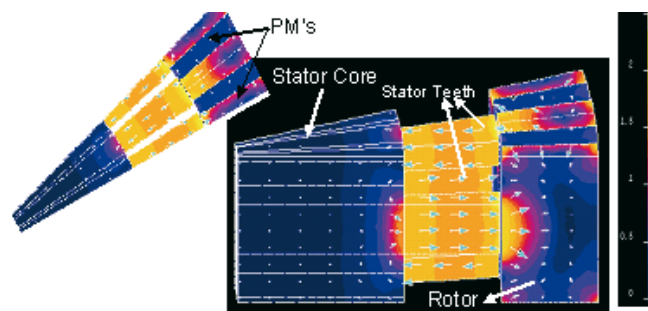


Abb. 2: Flussdichteberechnung für eine doppelte Polteilung mit einer 3D-Finite-Elemente-Simulation

Hochdynamische Multi-Level Frequenzumrichter

Asymmetrische Multi-Level Frequenzumrichter, oft auch als Zellenumrichter bezeichnet, sind, wie in Abb. 1 dargestellt, aus kaskadierten H-Brücken aufgebaut. Symmetrische Zellenumrichter erlangen derzeit im Mittelspannungsbereich stetig höhere Bedeutung, da sie im Vergleich zu Zwei- und Dreipunkt-Mittelspannungsumrichtern eine hohe Dynamik und eine niedrige Belastung der angeschlossenen Maschine erreichen, was die Nachrüstung erleichtert. Abb. 2 zeigt die Ausgangsspannung eines dreistufigen, asymmetrischen Umrichters in blau und die als Ziel vorgegebene Sinusspannung in rot.

Die niedrige Belastung der Last mit Spannungssprüngen (du/dt) und die geringe Verzerrung der Spannung sind offensichtlich. Dabei ist die Schaltfrequenz der einzelnen H-Brücken sehr niedrig.

Unter dem Titel „Hochdynamische Modulationsverfahren für asymmetrische Multi-Level Frequenzumrichter“ wird ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter-

stütztes Forschungsvorhaben durchgeführt, welches zum Ziel hat, mit dem neuen Ansatz des „programm-gesteuerten Modulators“ ein Modulationsverfahren für kaskadierte Multi-Level Frequenzumrichter zu

finden und diese Schaltungstopologie für den Einsatz in hochdynamischen Anwendungen nutzbar zu machen. Um eine hohe Rundlaufgüte und Drehmomentregelung bei elektrischen Maschinen mit hoher Leistung zu erzielen, ist es insbesondere bei permanentregten Maschinen notwendig, nichtsinusförmige Ströme einzuprägen. Alle bekannten Modulationsverfahren weisen bei Umrichtern hoher Leistung hinsichtlich der Reaktionszeiten, der Ausnutzung des leistungselektronischen Systems und des Wirkungsgrades signifikante Defizite auf, die mit dem neuen Ansatz behoben werden sollen. Weitere Schwerpunkte des Vorhabens sind die Untersuchung von subtraktiven und redundanten Zuständen im kaskadierten Multi-Level Umrichter und die Bestimmung optimaler Zwischenkreisspan-

nungen für die einzelnen Zellen. Eine Simulationsgrafik, die bei der Untersuchung unterschiedlicher Zwischenkreiskonfigurationen entstanden ist, zeigt die Abbildung 3.

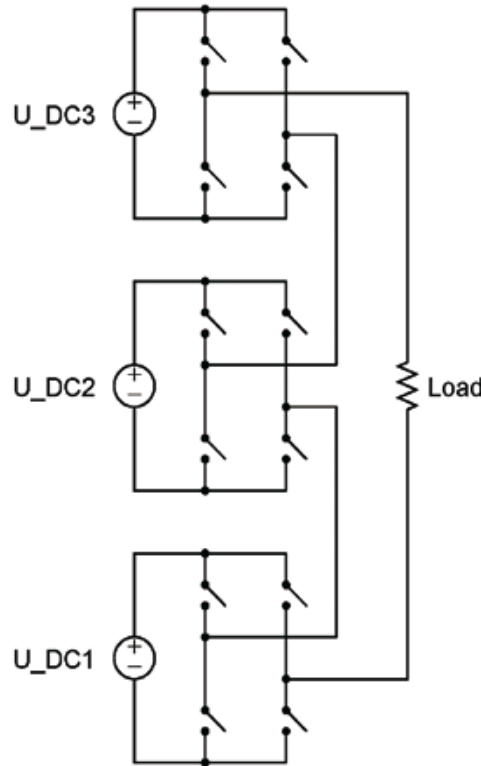


Abb. 1: Dreistufiger Zellenumrichter

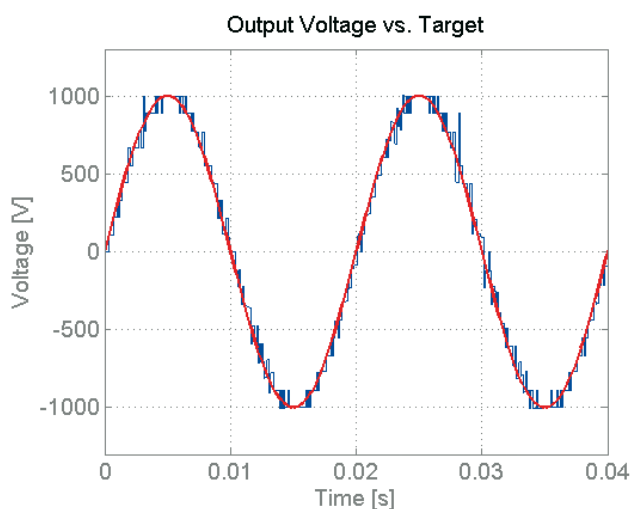


Abb. 2: Ausgangsspannung eines dreistufigen, asymmetrischen Zellenumrichters

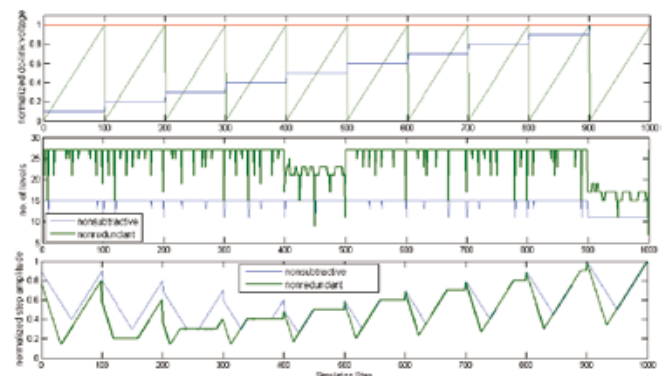


Abb. 3: Simulation unterschiedlicher Zwischenkreiskonfigurationen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Orlik



Univ.-Prof. Dr.-Ing. B. Orlik

Lehrveranstaltungen des Instituts

Das Lehrveranstaltungsangebot des Instituts ist so konzipiert, dass in den Vorlesungen die allgemeinen und fachspezifischen Grundlagen der Antriebstechnik und Leistungselektronik vermittelt werden, die die Absolventen in die Lage versetzen, sich während ihres gesamten Berufslebens selbständig in neue Arbeitsgebiete einarbeiten zu können. Im Vordergrund stehen dabei technische Verfahren und Methoden, die über lange Zeit Bestand haben werden. Damit wird die Grundlage für die Befähigung zum lebenslangen Lernen geschaffen, die wegen des schnellen technischen Wandels immer stärker an Bedeutung gewinnt.

In den Praktika erfahren die Studierenden aktuelle Umsetzungen der vorher vermittelten Theorien. An realen Versuchsaufbauten führen sie vorbereitete Experimente durch. Die kreative Umsetzung der vermittelten Vorlesungsinhalte in technische Verfahren und Schaltungen mit modernsten Technologien erfolgt dann im Rahmen der angebotenen Projekt-, Studien- und Diplomarbeiten. Dabei wird großer Wert darauf gelegt, dass den Studierenden die Nutzung von Ingenieur-Freiräumen bei der Lösung anwendungsbezogener Aufgabenstellungen vermittelt wird.

Im Jahr 2004 konnte mit den beiden neuen Vorlesungen „Konstruktion elektrischer Maschinen I + II“ von Frau Dr. Parspour und Herrn Dr. Götschmann das Lehrangebot so abgerundet werden, dass die gesamte Breite der Antriebstechnik von der elektrischen Maschine über die Leistungselektronik und die Regelung bis hin zur Anwendung abgedeckt wird.

Grundlagen der Elektrotechnik III

Eingebettet in das übergreifende Thema der Erzeugung elektrischer Energie mit Windkraftanlagen werden in dieser Vorlesung für Studierende des 3. Semesters die Grundlagen aller wesentlichen Komponenten zur Energiewandlung und zum Energietransport behandelt. Die Veranstaltung beginnt mit der Einführung des Drehstromsystems. Anschließend wird das Funktionsprinzip des Transformators erläutert und die darauf basierenden Betriebseigenschaften werden abgeleitet. Abgerundet wird dieses Kapitel mit dem Aufbau von Drehstromtransformatoren und der Erläuterung der gebräuchlichsten Schaltgruppen.

Das Themenfeld der elektrischen Maschinen beginnt mit einer kurzen Einführung in die Berechnung magnetischer Kreise. Im Anschluss daran wird der Aufbau von Gleichstrommaschinen behandelt und es werden die stationären Betriebseigenschaften der Reihenschluss-, Nebenschluss- und der fremderregten Gleichstrommaschine abgeleitet und diskutiert. Die Erzeugung von drehenden Magnetfeldern mit räumlich verteilten, feststehenden Wicklungen und der Aufbau und die Betriebseigenschaften von Asynchron- und Synchronmaschinen bilden weitere Kapitel. Abgeschlossen wird die Veranstaltung mit einer kurzen Einführung in das Übertragungsverhalten elektrischer Leitungen.

Zu der Vorlesung werden umfangreiche Manuskripte angeboten.

Power Converter Technology

Die Veranstaltung „Leistungselektronik und Stromrichtertechnik II“ hat einen neuen Titel bekommen und wird in englischer Sprache abgehalten.

Die Vorlesung beginnt mit selbstgeführten Stromrichter-Topologien. Zuerst werden Aufbau und Betriebseigenschaften von Gleichstromstellern behandelt. In diesem Zusammenhang werden Pulsweitenmodulation, Oberschwingungen in Strom und Spannung, Totzeitgenerierung und totzeitbedingte Spannungsfehler erläutert. Mit einem Hochsetzsteller und einem DC/DC-Sperrwandler wird dieses Themengebiet abgerundet. Der folgende Abschnitt befasst sich mit Pulswechselrichtern. Ausgehend von der Wechselrichtertopologie werden die Sinus-Dreieck-Modulation und die Vektormodulation besprochen und die Wirkung der totzeitbedingten Spannungsfehler bei Drehstrom-Brückenschaltungen diskutiert. Im Anschluss daran werden mit einfachen Grundschaltungen die netzgeführten Stromrichter eingeführt. An der dreipulsigen Mittelpunktschaltung werden die Kommutierung und der Lückbetrieb erläutert. Abschließend werden die Ergebnisse auf die sechspulsige Brückenschaltung übertragen.

Die Vorlesung wird von einer Übung begleitet, in der die Studenten weitere Einblicke in die Leistungselektronik bekommen, und in der neben der Vertiefung des Vorlesungsstoffes weitere Themen wie Simulationen, Kühlung und Leistungsfaktorkorrektur behandelt werden.

Für die Vorlesung gibt es ein Manuskript in deutscher und englischer Sprache.

Antriebsregelung und Mechatronik I

Die Veranstaltung beginnt mit einigen mechanischen Grundlagen. Daran schließt sich ein kurzes Kapitel über die Erwärmung elektrischer Maschinen an. Danach werden die dynamischen Eigenschaften und die Regelung von Gleichstrommaschinen behandelt. Einen Schwerpunkt bildet dabei die Ableitung und Diskussion der Regelstrategie für fremderregte Gleichstrommaschinen, die als allgemeines Grundregelverfahren angesehen werden kann.

Die Regelung von Drehfeldmaschinen beginnt mit der Einführung der Vektordarstellung (Raumzeiger), an die die Ableitung des dynamischen Verhaltens anschließt. Das Prinzip der Feldorientierung wird ausführlich erläutert und die Theorie zur feldorientierten Regelung bis hin zur Umsetzung aufgearbeitet. Den Abschluss der Vorlesung bildet ein kurzes Kapitel über die Regelung permanenterregter Synchronmaschinen.

Für die Vorlesung steht ein Manuskript zur Verfügung.

Antriebsregelung und Mechatronik II

Gegenstand dieser Vorlesung sind Anwendungen elektrischer Antriebe in mechatronischen Systemen des Maschinen- und Anlagenbaus. Zuerst wird der Begriff „Mechatronik“ am Beispiel einer Farbenmischanlage eingeführt. Es folgen elektronische Getriebe sowie die drehzahl- und lagesynchrone Regelung von Antriebssystemen.

Im folgenden Abschnitt wird die zeitoptimale Regelung auf feste und bewegte Zielpunkte behandelt. Daran schließt sich ein Kapitel zur Regelung elastisch gekoppelter Zweimassensysteme an.

Ein weiteres großes Themengebiet bildet die Regelung zum Transport und Wickeln elastischer Stoffbahnen. Dazu werden einige einfache Grundlagen der Materialdehnung und der Kontinuumsmechanik eingeführt.

Es folgt ein kurzes Grundlagenkapitel zur Analyse elektromechanischer Systeme mit Hilfe der Hamiltonfunktion und die Berechnung elektromagnetischer Kräfte mit Hilfe der magnetischen Energie. Am Beispiel eines Schwebemagneten des Transrapid (magnetisches Rad) wird das Verfahren zur Analyse der dynamischen Eigenschaften angewendet. Anschließend werden dazu verschiedene Regelungskonzepte diskutiert.

Für diese Veranstaltung wird ein Manuskript angeboten.

Grundlagenlaboratorium Regelungstechnik Teil 1

An dem Praktikum beteiligt sich das IALB mit den folgenden Versuchen:

- Die Gleichstrommaschine:
Parameterbestimmung
Untersuchung der Dynamik
Erstellung einer Antriebsregelung
- PID-Drehzahlregelung einer
Asynchronmaschine:
Asynchronmaschine und Frequenzumrichter
- PID-Regler
Lageregelung:
Aufbau eines Kaskadenregelkreises

Praktikum Antriebs- und Stromrichtertechnik

Hier werden die Studierenden mit allen Teilsystemen elektrischer Antriebe vertraut gemacht. Das Praktikum umfasst folgende Versuche:

- Operationsverstärker
- Mikro-Controller in der Regelungstechnik
- Messungen am U-Umrichter
- Messungen am Stromrichter
- Drehzahlregelung einer GSM
Simulation & Inbetriebnahme
- Feldorientierte Regelung einer ASM
Simulation & Inbetriebnahme

Univ.-Prof. Dr. phil. nat. Dieter Silber



Univ.-Prof. Dr. phil. nat. D. Silber

Prof. Silber ist ab dem 01.08.06 im Ruhestand, wird aber seine Funktionen bis auf weiteres wahrnehmen.

Werkstoffe, Bauelemente, Schaltungen I

Dieser Vorlesungsteil enthält vier Teilabschnitte.

1. Grundlagen zum Aufbau der Materie

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen der chemischen Bindung und der Kristallstrukturen behandelt, soweit sie für das Verständnis der elektrotechnischen Werkstoffe von Bedeutung sind. Zusätzlich gibt es eine einfache Einführung in die wichtigsten Phasen-Diagramme binärer Systeme. Die Grundlagen der Elastizitätstheorie werden im Zusammenhang mit Teil 2 (Piezomaterialien) dargestellt.

2. Dielektrische Werkstoffe

Hier werden die Grundlagen der dielektrischen Polarisierung (Polarisationsmechanismen) und die wichtigsten Kondensator-Dielektrika behandelt. Außerdem enthält dieser Teil eine Einführung in piezoelektrische Werkstoffe (Ferroelektrika und Schwingquarz) sowie eine elementare Darstellung der Lichtwellenleiter.

3. Werkstoffe mit magnetischen Ordnungszuständen

Der Abschnitt enthält die wichtigsten Grundlagen der ferro- und ferrimagnetischen Ordnungszustände sowie der Verluste in Werkstoffen für Transformatoren und Induktivitäten.

4. Einführung in die mikroskopische Theorie der elektrischen Leitfähigkeit sowie der Energiebandstruktur von Metallen und Halbleitern

In der Näherung des klassischen Elektronengases werden die Bedingungen für Ohm'sches Verhalten abgeleitet, außerdem werden die Diffusionsströme eingeführt. Die wichtigsten Begriffe im Zusammenhang mit der Bandstruktur von Halbleitern und der Ausbildung von Halbleiterübergängen werden in elementarer Näherung behandelt. Den Abschluss bildet die Herleitung und Veranschaulichung der Fermi-Verteilung.

Werkstoffe, Bauelemente, Schaltungen II

Dieser Vorlesungsteil enthält zwei Hauptabschnitte.

1. Einführung in die Grundlagen und die wichtigsten Grundkonzepte von Halbleiterbauelementen:

- Dioden, Bipolartransistoren und deren wichtigste Kennlinien und Ersatzschaltbilder
- Sperrschicht-Feldeffekttransistoren und MOS-FETs
- Sende- und Empfängerbauelemente der Optoelektronik

In diesem Kurs ist eine Darstellung von Heterostrukturbauelementen aus Zeitgründen leider nicht möglich.

2. Grundsaltungen der Transistoren und einfache Grundsaltungen der analogen Schaltungstechnik:

- Transistorgrundsaltungen
- Einfache Verstärkerschaltungen
- Kombinationsschaltungen aus mehreren Bauelementen (Darlington, Kaskode, Stromspiegel, Differenzverstärker, komplementäre Emitterfolger).

Leistungselektronik und Stromrichtertechnik I

Diese Vorlesung stellt die elementaren Grundprinzipien leistungselektronischer Schaltungen (im Vergleich zu anderen analogen und digitalen Schaltungen) dar. Aus dieser Darstellung werden die Anforderungen an die Schaltelemente der Leistungselektronik hergeleitet. Anschließend werden die wichtigsten leistungselektronischen Halbleiterbauelemente behandelt. In den Übungen werden Grundlagen der Strommessung, der parasitären Effekte in den Leitungsführungen sowie einige wichtige Schutzbeschaltungen eingeführt.

Diese Vorlesung ist so konzipiert, dass sie auch als Ergänzung zu den Veranstaltungen der mikroelektronischen Schaltungstechnik geeignet ist.

Halbleiterbauelemente

Diese Vorlesung ergänzt die Einführung in die Funktionsweise von Halbleiterbauelementen, die im Grundlagenkurs „Werkstoffe, Bauelemente und Schaltungen“ gegeben wurden. Sie enthält folgende Einzelabschnitte:

- Einführung in die Struktur der Energiebänder im Impulsraum, Gegenüberstellung von direkten und indirekten Halbleitern, Begriff der effektiven Masse, präzisere Darstellung der spontanen und induzierten optischen Übergänge
- Effekte bei hohen Feldstärken (Geschwindigkeitssättigung und Stoßionisation)
- Shockley-Read-Hall-Rekombination
- Hochdotierungs-Effekte (partielle Ionisierung, Störbandbildung, Auger-Rekombination, Band-Gap-Narrowing) und ihre wichtigsten Konsequenzen für die Bauelemente
- Herleitung der Gummel-Zahl
- Hetero-Übergänge und einige wichtige Heterostruktur-Bauelemente (Heterostruktur-Bipolar-Transistor, High-Electron-Mobility-Transistor, Doppel-Heterostruktur-Laser)
- Metallhalbleiterübergänge und MOS-Band-Struktur
- Bauelemente mit negativen Kennlinienabschnitten, Laufzeitdioden der Mikrowellentechnik.

Ergänzend gibt es eine sehr knappe Darstellung der Nano-strukturierten Halbleiterbauelemente.

Semiconductor Devices (Pflichtfach für den Masterstudien- gang „Communication and Information Technology“)

Diese englischsprachige Lehrveranstaltung ist eine Einführung in die Halbleiterbauelemente mit dem Schwerpunkt „Hochfrequenz-Bauelemente und Optoelektronische Bauelemente“. Sie setzt sich aus den entsprechenden Abschnitten aus den Vorlesungen „Werkstoffe, Bauelemente und Schaltungen II“ sowie „Halbleiterbauelemente“ zusammen.

Einführung in die Festkörperphysik

Diese Wahlpflichtvorlesung enthält festkörperphysikalische Grundlagen der Halbleiterkristalle, thermische Eigenschaften von Festkörpern, eine Einführung in Anwendungen der Supraleitung und die Grundlagen optoelektronischer Bauelemente einschließlich Flüssigkristallanwendungen. Das Ziel der Vorlesung ist, den inneren Zusammenhang zwischen verschiedenen Themen darzustellen (allgemeine Struktur von Elektronen- und Photonen-Bändern, Bedeutung der Symmetrie für das Auftreten optischer oder piezoelektrischer Effekte, Bragg-Reflektion in der Kristallstrukturanalyse und der Optoelektronik usw.).

Modellbildung und Messverfahren für Halbleiterbauelemente und Solarzellen

In dieser Veranstaltung beschäftigen sich Studierende der Elektrotechnik (Diplom- und Master-Studiengänge) mit Messverfahren zur Ermittlung von Trägerlebensdauern, mit Untersuchungen zu Transporteigenschaften bei tieferen Temperaturen und mit Einzelaspekten des dynamischen Verhaltens von Bauelementen. Zusätzliche Themen sind: Grundlagen der Bauelementesimulation, der thermischen-mechanischen Simulation und der Simulation von induktiven parasitären Effekten in der Leistungselektronik.



Konstruktion elektrischer Maschinen II

In dieser Vorlesung werden nach einer Einführung in den konstruktiven Aufbau und die Funktionsweise von Gleich- und Wechselstrommaschinen Verfahren zur Berechnung von elektromagnetischen und elektromechanischen Parametern der jeweiligen Maschinen vorgestellt. Die Schwerpunkte hierbei sind: Berechnung des magnetischen Kreises, Dimensionierung der Permanentmagnete, Auslegung der Wicklungen, Modellbildung der jeweiligen Maschinen und analytische sowie numerische Design- und Optimierungsverfahren.

Basierend auf diesen Kenntnissen werden die maschinencharakteristischen Parameter Drehmoment, Drehzahl, Leistung und Wirkungsgrad sowie deren Zusammenhänge in Abhängigkeit von konstruktiven Daten ermittelt. Dies erfolgt für folgende Maschinentypen: Gleichstrommaschine, Asynchronmaschine, permanent-magnetisch erregte Synchronmaschine, Elektronikmotor und Transversalflussmaschine. Ziel der Vorlesung ist die Vermittlung sowohl der theoretischen als auch der in der Praxis gängigen Methoden zur Maschinenberechnung.

System Theory I

Diese Vorlesung wird in englischer Sprache für die Masterstudiengänge „Automation and Information Technology“ und „Communication and Information Technology“ angeboten. Ziel ist die Angleichung des Wissenstands von internationalen Teilnehmern dieses Studienganges.

Zunächst werden die Grundbegriffe Signale, Systeme und deren Klassifikationen diskutiert und elementare Signale und Systeme aus den jeweiligen Fachgebieten vorgestellt. Für lineare zeitkontinuierliche Systeme erfolgt dann die ausführliche Einführung in Systemmodellbildungsmethoden im Zeit- und Frequenzbereich.

Am Beispiel realer Systeme wird die Ermittlung und Lösung von Systemdifferentialgleichungen, Modellbildung mittels Blockdiagrammen und Zustandsraummodellen diskutiert. Schwerpunkte sind die ausführliche Behandlung der Jordantransformation, der charakteristischen Systemgleichung, der Eigenwertproblematik und der Problemlösung im Frequenzbereich mittels Laplace-Transformation und Fourier-Transformation.

Die Vorlesung wird von einer Übung begleitet.

Grundlagenlabor der Elektrotechnik

Das Praktikum „Grundlagen der Elektrotechnik“ ist eine Veranstaltung, die von Studenten der Elektrotechnik, Technomathematik, Produktionstechnik und System Engineering besucht wird. Das Labor wird laut Lehrplan im dritten Semester begonnen und erstreckt sich über zwei Semester. Somit stellt dieses Praktikum die praktische Begleitveranstaltung zur Vorlesung während des Vordiploms dar.

Anfangen von Arbeiten mit analogen Zeigerinstrumenten und digitalen Multimetern werden Messschaltungen, Strom- und Spannungsfehlerschaltung und Kompensationsschaltungen geübt und Fehlerquellen analysiert.

Ausführlich behandelt werden auch der innere Aufbau und die Funktionsweise von Netzgeräten, Funktionsgeneratoren und analogen und digitalen Oszilloskopen sowie der praktische Umgang mit diesen Geräten.

Ein weiterer Schwerpunkt des Labors ist die Vermittlung von Wissen über den Entwurf und den Bau von elektronischen Schaltungen, den Einsatz von elektronischen Bauelementen und die praktische Entwicklung von elektronischen Basisschaltungen wie Schwingkreise und Schaltungen mit Operationsverstärkern.

Aufbauend auf den erworbenen Kenntnissen über Messtechnik, elektronische Bauelemente und Schaltungen und den handwerklichen Fertigkeiten werden abschließend komplizierte Schaltungen von den Teilnehmern entworfen, analysiert, gebaut und auf ihre Funktionsfähigkeit geprüft.

In diesem Labor wird stets darauf geachtet, dass begleitend zu den praktischen Versuchen auch Methodenwissen und Problemlösungsfähigkeiten erworben werden. Bei der Anwendung des Oszilloskops wird beispielsweise geübt, mit welchen Methoden man sich die Funktion eines schon etwas komplexeren technischen Systems erarbeitet, ohne die konkrete Schaltungstechnik in voller Breite abzuhandeln.

Unternehmerisches Denken an der Universität

Im Rahmen des Praktikums „Grundlagenlabor der Elektrotechnik“ wird, nachdem sichere Grundkenntnisse über Messgeräte und elektronische Bauelemente und Grundsaltungen vorliegen, in einer weiteren Phase dieses technische Wissen durch das Wissen über die Struktur, das Verfahren und die Prozessabläufe in einem Unternehmen vervollständigt.

Dazu werden zunächst in einer einführenden Vorlesung die Struktur eines Unternehmens und die verschiedenen Abteilungen wie Vertrieb, Marketing, Entwicklungsabteilung, Produktion, Projektabteilung, Logistik, Controlling, Personalabteilung und Geschäftsleitung vorgestellt.

In einer weiteren Vorlesung werden, beginnend bei der Entwicklung eines Produktes bzw. einer Idee, folgende Prozessabläufe in einer Firma behandelt: Erstellung eines Angebotes, Durchführung von Kalkulationen, Werbung von Kunden, Auftragsannahme, Entwicklung und Produktion des Auftrages, Vorabnahme, Lieferung, Kundenabnahme, Durchführung, Nachkalkulation und Gewinnberechnung.

Die Studenten erhalten anschließend ein virtuelles Startkapital und bilden in kleinen Gruppen Unternehmen, die auf den Bau von elektronischen Schaltungen spezialisiert sind. Jedes Unternehmen entscheidet sich für den Bau einer bestimmten Schaltung. Die Gruppen durchlaufen dann die Stationen eines Prozesses angefangen bei der Werbungsphase und der Erstellung eines Angebotes bis zur Lieferung eines fertigen Produktes und der Nachkalkulation.

Dr. Norbert Götschmann



Konstruktion elektrischer Maschinen I

In elektrischen Maschinen bewegen sich von Strom durchflossene Leiter in Magnetfeldern. Dabei wirken Kräfte und Momente in den Maschinenteilen. Dynamische Kräfte verursachen Schwingungen und Maschinenerwärmungen verursachen Temperaturspannungen.

In der Vorlesung werden Methoden vermittelt, mit denen das elektromechanische System „elektrische Maschine“ so konstruiert werden kann, dass alle mechanischen Anforderungen an Festigkeit und Laufruhe erfüllt werden. Die Anforderungen, die dem Stand der Technik entsprechen und die in den Normen vorgegeben sind, werden themenbezogen dargestellt.

Damit Konstruktionszeichnungen gelesen oder Konstruktionsskizzen angefertigt werden können, werden die wichtigsten Grundregeln für das technische Zeichnen vermittelt. Die vermittelten Konstruktions- und Berechnungsmethoden berühren mehrere Felder des Maschinenbaus - wie die Festigkeitslehre, die Lebensdauerberechnung von Lagern, die Berechnung kritischer Drehzahlen und die Verbindungstechnik. Deshalb werden die Methoden so vermittelt, dass sie konsequent auf die vorgenannte Anwendung zugeschnitten sind. Die Vorlesung ist ausgerichtet auf Studierende der Elektrotechnik, die Interesse an interdisziplinärem Fachwissen haben.

Begleitend zur Vorlesung wird eine Exkursion zur Firma LDW (Lloyd Dynamowerke GmbH & Co. KG) angeboten. LDW ist der Hersteller elektrischer Maschinen, bei dem der Dozent, Dr. Norbert Götschmann, Leiter der Konstruktion ist.

Beratung zum Berufspraktikum (Grund- und Fachpraktikum der Elektrotechnik)

Die berufspraktische Tätigkeit ist ein wichtiger Teil der Ingenieurausbildung und eine ebenso wichtige Voraussetzung für ein erfolgreiches Studium der Elektrotechnik. Zweck der praktischen Ausbildung ist es, durch eigene Mitwirkung einen Einblick in die Organisation und die Arbeitsmethoden der Praxis zu gewinnen. Der Studiengang Elektrotechnik der Universität Bremen fordert vom Studenten eine praktische Tätigkeit von insgesamt 26 Wochen.

Grundpraxis:

Der erste Teil mit 13 Wochen ist als Grundpraxis vollständig bis zur Diplom-Vorprüfung abzuleisten. Mindestens 8 Wochen sollen vor Beginn des Studiums absolviert sein. Es wird den Studienbewerbern/innen dringend empfohlen, mehr als 8 Wochen vor Beginn des Studiums abzuleisten, da die vorlesungsfreien Zeiten dem Vertiefen des Studiums dienen sollen. Der Nachweis über die volle Grundpraxis von 13 Wochen ist spätestens bis zum Antrag auf Ausstellung des Vordiplom-Zeugnisses zu erbringen. Eine Befreiung von der Grundpraxis ist nicht möglich.

Fachpraxis:

Der zweite Teil der nach der Diplomprüfungsordnung vorgeschriebenen praktischen Ausbildung ist die Fachpraxis mit einer Dauer von 13 Wochen. Sie soll erst nach dem 4. Fachsemester abgeleistet werden und ist spätestens bis zum Antrag auf Ausstellung des Diplomzeugnisses nachzuweisen. Die Fachpraxis umfasst ingenieurnahe Tätigkeiten auf dem Gebiet der Elektrotechnik.

