



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

Jahrbuch 2009

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

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nando Kaminski

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

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



Universität Bremen

Themenübersicht

Vorwort	2
Mitarbeiter des IALB im Jahr 2009	3
Forschungsberichte	4
FEM-basiertes Simulationsmodell für Transversalflussmaschinen	5
Inbetriebnahme eines 8.7 kNm Transversalflußgenerators	6
Belastungsminimierende Regelung von elastisch gekoppelten Mehrmassensystemen	7
Wirkungsgradoptimierte Umrichter für Windenergieanlagen im Teillastbetrieb	8
Windenergieanlagen mit intelligenter Leistungselektronik zur Steigerung der Energieeffizienz	9
Entwicklung eines Hardware-in-the-Loop-Simulators für eine Wickelmaschine mit Tänzerlageregelung	10
Kompakte Konstruktion einer Transversalflußmaschine für Radnabenmotor	11
Effekte von Laminatmodellen bei TFM in Segmentkonstruktion durch magnetostatische Lösungsansätze	12
Simulation des realen Verhaltens von Bedienelementen	13
Sensorlose Drehzahlregelung von Asynchronmaschinen unter Ausnutzung von Sättigungseinflüssen	14
All digital high efficiency AC/DC single phase power supply with active PFC	15
Safe Operating Area of 1200V IGBTs	16
Reverse Conducting IGBT	17
Lehrveranstaltungen des Instituts	18
Grundlagen der Elektrotechnik III	18
Grundlagenlaboratorium Regelungstechnik Teil 1	18
Praktikum Antriebs- und Stromrichtertechnik	19
Power Converter Technology	19
Antriebsregelung und Mechatronik I	19
Antriebsregelung und Mechatronik II	19
Werkstoffe, Bauelemente, Schaltungen I	20
Werkstoffe, Bauelemente, Schaltungen II	20
Leistungselektronik und Stromrichtertechnik I	21
Halbleiterbauelemente	21
Einführung in die Festkörperphysik	21
Modellbildung und Messverfahren für Leistungshalbleiterbauelemente	21
Qualitäts- und Verbesserungsmethoden	21
Berechnung elektrischer Maschinen	22
Konstruktion elektrischer Maschinen	22
Mechatronische Antriebslösungen für Produktions- und Logistikaufgaben	23
AG Wind	24



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



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nando Kaminski



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

Vorwort

Das Jahr 2009 war in starkem Maß durch die Aktivitäten des IALB in der Windenergieforschung geprägt. So konzipierte das Institut im Rahmen des Windenergie-Clusters „germanwind“ vier Forschungsprojekte mit einem Gesamtvolumen von 10 M€. Als Kooperationspartner waren daran insgesamt 16 Unternehmen beteiligt. Auch wenn „germanwind“ vom BMBF nicht als Spitzencluster angenommen wurde, wird das IALB nach Möglichkeiten suchen, um diese Kooperationsvorhaben im Rahmen anderer F+E-Programme zu realisieren. Den beteiligten Unternehmen möchten wir an dieser Stelle unseren besonderen Dank für die vertrauensvolle Zusammenarbeit ausdrücken.

Im August 2009 ist das IALB auch offiziell Mitglied des Zentrums für Windenergieforschung „ForWind“ geworden, das die Kompetenzen der drei Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen auf dem Gebiet der Windenergieforschung bündelt. ForWind verbindet dabei wissenschaftliches Know-how mit industrienaher Forschung.

Anfang 2009 hat das Institut eine studentische Arbeitsgemeinschaft „Windenergie“ eingerichtet, an der sich Studenten der Fachrichtungen Elektrotechnik, Physik, Produktionstechnik und Systems Engineering beteiligen können. In dieser Arbeitsgemeinschaft finden interessierte Studierende die Möglichkeit, bereits studienbegleitend praktische Erfahrungen über die vielfältigen Ingenieuraufgaben im Hinblick auf Technik, Wirtschaftlichkeit und Organisation zu sammeln.

Im Oktober 2009 hatte das IALB der Universität Bremen sein fünfzehnjähriges Bestehen. Gleichzeitig war der Lehrstuhl für leistungselektronische Bauelemente im Institut seit einem Jahr wieder besetzt. Während in der Anfangsphase Antriebe und Leistungselektronik kleiner und mittlerer Leistungen im Vordergrund der Forschungsaktivitäten des Instituts standen, hat sich in den letzten Jahren der Schwerpunkt zu größeren Leistungen verschoben.

Die im Abschnitt „Forschungsberichte“ zusammengestellten Projektberichte geben einen Überblick über die Aktivitäten des Instituts bei der Entwicklung von elektrischen Maschinen, leistungselektronischen Bauelementen und Schaltungen sowie digitalen Antriebs- und Generatorregelungen. Eine Schlüsselkompetenz des Instituts liegt bei der Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen Leistungselektronik und Mechanik einerseits sowie Leistungselektronik und Netz andererseits. Erfreulich ist, dass das bereits sehr hohe Drittmitelvolumen der Vorjahre in 2009 noch einmal gesteigert werden konnte.

Diese beachtliche Entwicklung des Instituts war nur durch das weit überdurchschnittliche Engagement aller Institutsmitarbeiter in Forschung und Lehre sowie aller im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten oder als studentische Hilfskräfte tätigen Studierenden möglich.

Den Lehrbeauftragten Herrn Dr.-Ing. N. Götschmann, Herrn Dr.-Ing. E. Kiel und Herrn Dr.-Ing. Th. Völker möchten wir an dieser Stelle für ihr Engagement in der Lehre danken, mit dem sie einen wertvollen Beitrag zu dem vielfältigen Lehrangebot des Instituts leisten.

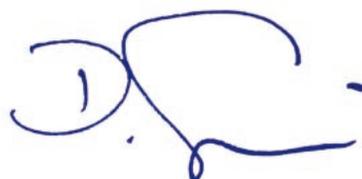
Allen Freunden des IALB und allen Geschäftspartnern danken wir für ihre Unterstützung und ihr Vertrauen.



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



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nando Kaminski



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

Mitarbeiter des IALB im Jahr 2009



Institutsleitung

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

Oberingenieur: Dipl.-Ing. Johannes Adler

Forschungsgruppen

Sekretariat	Antriebe	Regenerative Energien	Mechatronik	Leistungsbauelemente	Technische Mitarbeiter
E. Krüger H. Janssen N. Henze	H. Groke J. Borecki M. Joost J. Schröck	Chr. Mehler H. Langmack G. R. Khokhar F. Fein	S. Bassurah Chr. Renz J. Schüttler G. Tisborn M. Siatkowski	I. Sheikhan U. Vemulapati Chr. Zorn	G. Matthies B. Vahlenkamp G. Schwerdtfeger F. Trocha

Forschungsberichte

FEM-basiertes Simulationsmodell für Transversalflussmaschinen

In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass gerade bei Transversalflussmaschinen (TFM) erhöhte Ansprüche sowohl an den Umrichter als auch an die Regelalgorithmen gestellt werden, um den geringen Leistungsfaktor zu kompensieren und einen Einfluss auf die Drehmomentwelligkeit der TFM nehmen zu können. In der Regel können solche Komponenten vorab in Simulationen optimiert und getestet werden. Bedingt durch die transversale Flussführung ist das Verhalten einer TFM aber nicht mit einer zweidimensionalen Simulation berechenbar, wie es häufig bei konventionellen Maschinen der Fall ist, sondern es ist eine sehr zeitaufwändige dreidimensionale Simulation erforderlich, wofür am IALB Flux3D (Cedrat) eingesetzt wird. Aufgrund des enormen Rechenzeitbedarfs konnten bisher weder die Regelung noch der Umrichter in eine gemeinsame Simulation integriert werden.

Im IALB wurde aus diesem Grund ein neues Maschinenmodell unter Matlab/Simulink entwickelt, welches – basierend auf Daten aus dreidimensionalen Simulationen – das Verhalten der TFM abbildet und dabei die Berechnungszeit erheblich verkürzt.

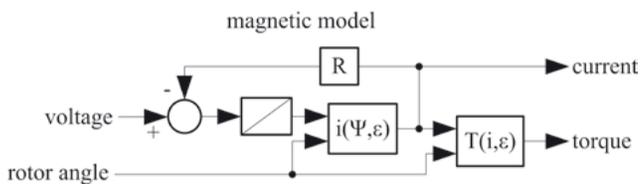


Abb. 1: Magnetisches Modell der TFM als Blockschaltbild: durch die Integration der Eingangsspannung abzüglich des ohmschen Anteils über der Wicklung ergibt sich eine Flussverkettung, der abhängig von der Rotorposition eindeutig ein Phasenstrom zugewiesen werden kann. Aus dem Strom und der Rotorposition ergibt sich das Luftspaltmoment

Zur Generierung der Modelldaten wird weiterhin eine 3D-Simulation verwendet, jedoch muss diese nur ein Mal durchgeführt werden. Durch die Zusammenfassung der Spannungsquelle (induzierten Spannung) und der Induktivität aus dem klassischen Maschinenmodell zu einer gemeinsamen Gegenspannungsquelle kann das gesamte Kennfeld der Maschine durch eine Variation der Rotorposition und des Phasenstroms erfasst werden. Die gewonnenen Daten werden mit den beiden Blöcken $i(\Psi, \epsilon)$ und $T(i, \epsilon)$ in das magnetische Modell (Abb. 1) der Maschine integriert.

Ein direkter Vergleich mit einer Flux3D-Simulation zeigt eine sehr gute Übereinstimmung aller relevanten Größen, wie z. B. des abgegebenen Moments (Abb. 2) sowie der Ströme und Spannungen.

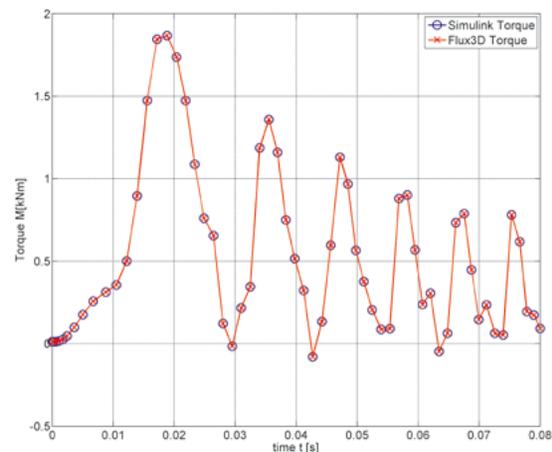


Abb. 2: Vergleich des Drehmoments, berechnet mit dem neuen Modell und mit Flux3D

Das neue Modell stellt im geforderten Rahmen einen vollwertigen Ersatz für die Flux3D-Simulation dar. Für die Simulation von 0.2 Sekunden (Hochlauf der TFM)

benötigt das Modell 1.19 Sekunden Rechenzeit (206 Zeitschritte), wohingegen die gleiche Berechnung mit Flux ca. 2 Tage dauert. Die Berechnungszeit kann also um den Faktor 140.000 verkürzt werden.

Das neue Modell wurde für die Entwicklung der Regelung und des Umrichters für einen 8.7 kNm Transversalflussgenerator genutzt. In der Simulation des Gesamtsystems (Abb. 3) lieferte es überzeugende Ergebnisse, die am Prüfstand bei den Lloyd Dynamowerken GmbH & Co. KG. bestätigt wurden.

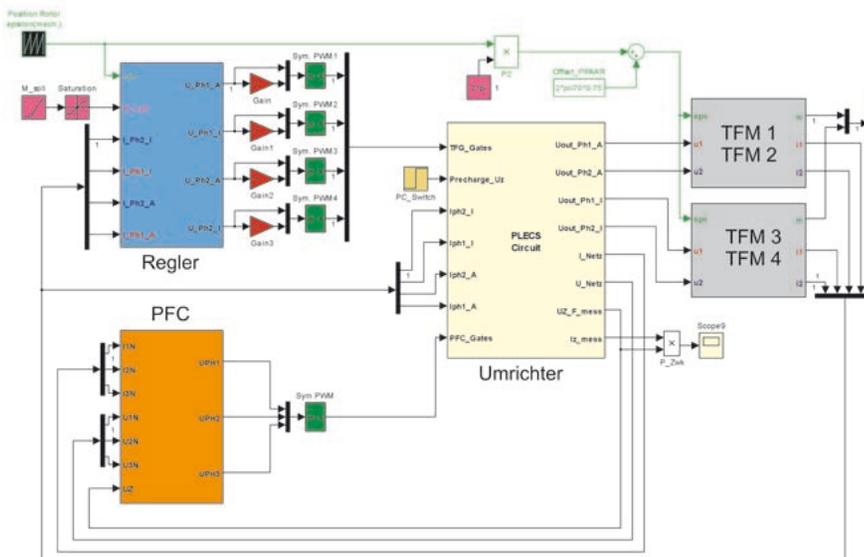


Abb. 3: Das magnetische Modell der viersträngigen TFM (TFM 1,2 und TFM 3,4) wurde in das Gesamtsystem mit Umrichter, Regelung und netzseitiger PFC eingebaut.

Inbetriebnahme eines 8.7 kNm Transversalflussgenerators

Ein als Scheibenläufer ausgelegter Transversalflußgenerator (TFG) mit einem Nenndrehmoment von 8.7 kNm, der am IALB und den Lloyd Dynamowerken GmbH & Co. KG (LDW) im Rahmen des Vorhabens „TransKon“ berechnet, konstruiert und gebaut wurde, ist erfolgreich im Prüffeld der Firma LDW in Betrieb genommen worden. Abb. 1 zeigt den Messaufbau mit dem Prüfling (links) und der Antriebsmaschine (rechts) im Prüffeld. Beide Maschinen sind direkt über eine Gelenkwelle,



Abb. 1: Messaufbau im Prüffeld (Links: 8.7 kNm TFG, Rechts: Gleichstromantrieb)

die sich unter einer Haube befindet, miteinander gekoppelt. Die viersträngig ausgelegte Maschine besitzt zwei um 90° versetzte elektrische Phasen. Zur besseren Volumenausnutzung ist der Magnetkreis auf einen inneren und einen äußeren Magnetkreis auf jeder der zwei Scheiben des Rotors aufgeteilt. Abb. 2 zeigt eine schematische Darstellung des Scheibenläufers mit seinen Magnetkreisen zusammen mit den geblechten Eisen-

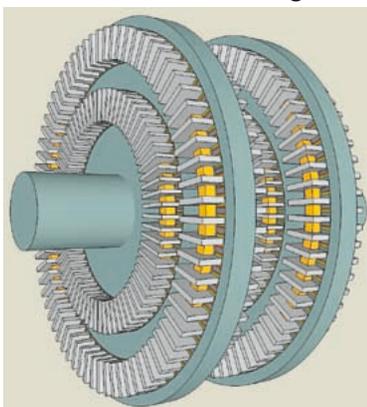


Abb. 2: Rotor mit Magnetkreis

teilen des Stators. Die vier Stränge des Generators werden an ein eigens für den Generator aufgebautes Umrichtersystem (Abb. 3), bestehend aus fünf einzelnen

Frequenzumrichtern angeschlossen. Alle Umrichter sind über den gemeinsamen Zwischenkreis mit einer Spannung von 900 V miteinander verbunden, die Hilfs- und Steuerspannungen der einzelnen Umrichter sind jedoch galvanisch von einander getrennt. Die Ansteuerung der Umrichter erfolgt über eine eigens am IALB entwickelte Mikrorechnerkarte mit einem digitalen Signalprozessor (DSP) TMS320-F28335. Der fünfte Umrichter dient

als aktive Netzwechselrichterstufe mit PFC, um die vom Generator in den Zwischenkreis fließende Energie



Abb. 3: Umrichtersystem

ins Verbundnetz zurück zu speisen. Eine Interkommunikation und Synchronisation der Schaltsignale der Umrichter wird durch eine Kommunikation

mittels Lichtwellenleiter realisiert. Auf Grund unterschiedlicher Weiten der Luftspalte in den vier magnetischen Kreisen sind auch die Polradspannungen der einzelnen Teilphasen unterschiedlich, so daß diese durch je einen Frequenzumrichter angesteuert werden. Die Stromregelung eines Stranges der Maschine ist in Abb. 4 dargestellt. Diese stellt sicher, daß jeder Strang

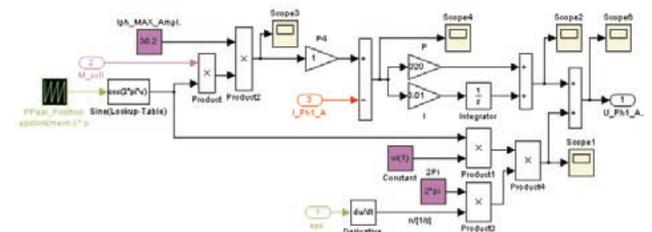


Abb. 4: Regelung der Strangströme

bis zum Nennstrom betrieben werden kann und in allen Strängen der vorgegebene Stromsollwert ausgeregelt wird. Die Stromregelung arbeitet im Zeitbereich und besteht im Wesentlichen aus einem PI-Regler und einer nachfolgenden Störgrößenaufschaltung zur Entlastung des Reglers. Die gemessenen und auf Nennstrom geregelten Strangströme der Maschine sind in Abb. 5 dargestellt.

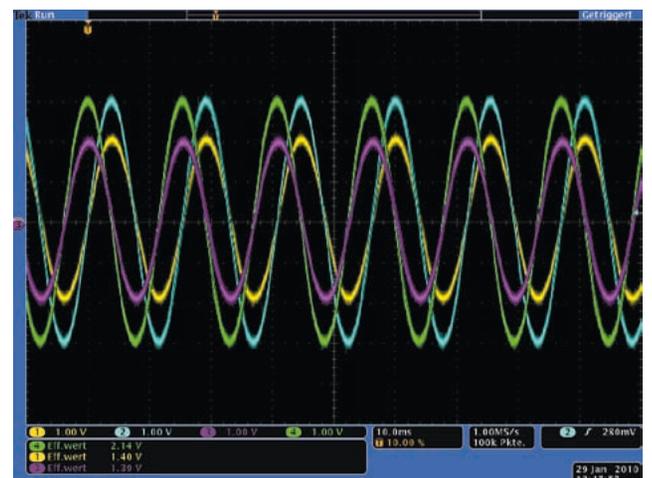


Abb. 5: Geregelte Strangströme der Maschine, 12.8 A/V

Belastungsminimierende Regelung von elastisch gekoppelten Mehrmassensystemen

Eine Vielzahl von technischen Systemen, wie z.B. Werkzeugmaschinen, Fertigungsstraßen, Windenergieanlagen, enthalten Antriebsstränge, bei denen bewegte Massen über mechanische Kopplungselemente, wie Kupplungen, Getriebe, usw. elastisch miteinander verbunden sind. Dynamische Lastwechsel führen bei solchen elastisch gekoppelten Mehrmassensystemen zu Spitzen im Torsionsmoment des Antriebsstranges bzw. im Ruck. Diese wiederum können zu Schäden an Getriebe, Lagern und Wellen führen. Besonders bei Windenergieanlagen stellen dynamische Lastwechsel eine Herausforderung dar.

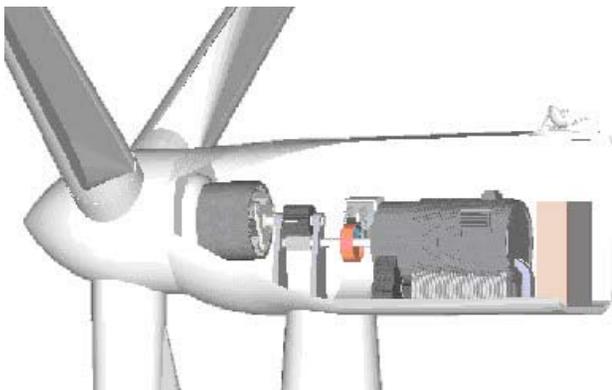


Abb. 1: Windenergieanlage als Beispiel eines elastisch gekoppelten Mehrmassensystems

Am IALB werden daher neue Regelungskonzepte für solche elastisch gekoppelten Mehrmassensysteme erforscht, die den Betrieb mit möglichst hoher Dynamik ermöglichen, dabei aber die Belastungen in den Koppellementen deutlich reduzieren, so daß eine Beeinträchtigung der Lebensdauer vermieden wird.

Dazu ist eine Torsionsmomentenregelung mit Ruckbegrenzung entwickelt worden. Damit besteht die Möglichkeit, über die Form bzw. die Begrenzung des Torsionsmoment-Sollwertes eine Belastungsreduzierung zu erreichen.

Unten dargestellt sind Messergebnisse einer Drehzahlregelung und das zugehörige Wellenmoment bzw. der Ruck jeweils mit und ohne die unterlagerte neue Wellenmomentregelung. Der Vergleich zeigt, daß die neue Wellenmomentregelung eine deutliche Reduzierung des Torsionsmomentes und des Rucks bewirkt. Die direkte Regelung der kritischen Variablen erlaubt es somit, Schäden am System zu vermeiden, ohne die Dynamik der äußeren Regelkreise zu begrenzen, und so die Anlage bestmöglich auszunutzen.

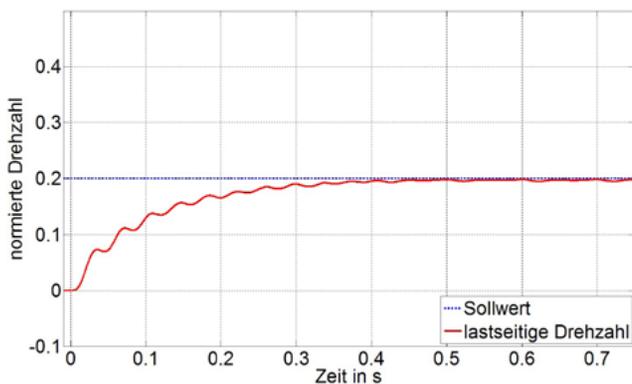


Abb. 2: Drehzahlprung ohne Wellenmomentregelung

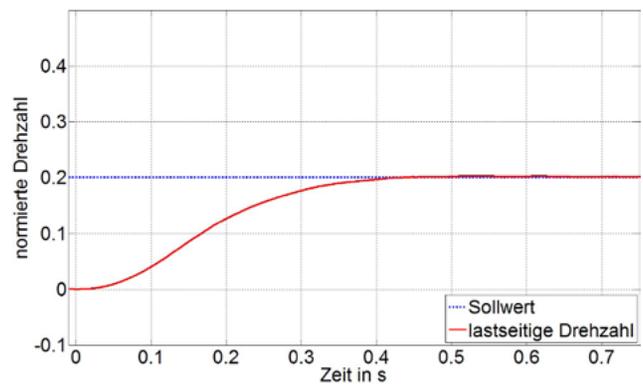


Abb. 4: Drehzahlprung mit Wellenmomentregelung

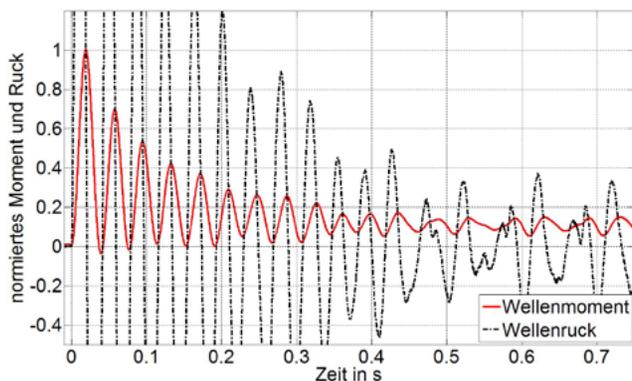


Abb. 3: Innere Größen ohne Wellenmomentregelung

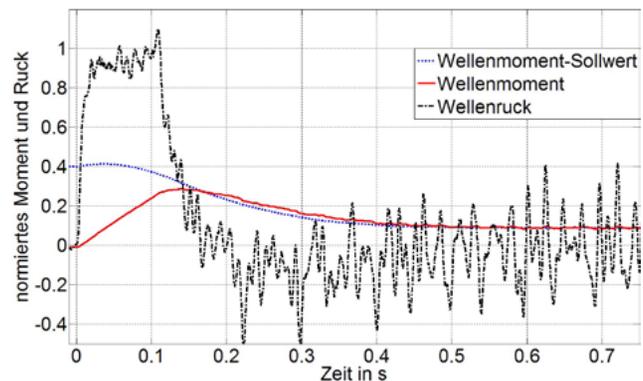


Abb. 5: Innere Größen der neuen Wellenmomentregelung

Wirkungsgradoptimierte Umrichter für Windenergieanlagen im Teillastbetrieb

Momentan wird versucht, den Ertrag von Windenergieanlagen (WEA) durch immer größer werdende Anlagen zu steigern. Die letzten Jahre haben jedoch gezeigt, dass sich die Anlagengröße nicht problemlos weiter erhöhen lässt. Eine weitere Möglichkeit, den Ertrag einer WEA zu steigern, ohne die Anlagen zu vergrößern oder mehr Anlagen aufzustellen, ist die Verbesserung des Wirkungsgrades der Anlagen. Bisher wurden dabei le-

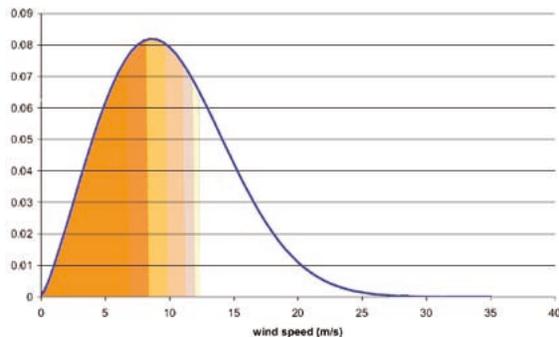


Abb. 1: Windgeschwindigkeits-Verteilung

diglich die Generatorwirkungsgrade betrachtet, da Frequenzumrichter im Nennbetrieb Wirkungsgrade von über 90% aufweisen. Wie in Abb.1 aufgetragen, beträgt die Windgeschwindigkeit auf dem Meer (gemessen auf der Forschungsplattform FINO-1) über die Hälfte des Jahres weniger als 12m/s. WEA liefern allerdings erst ab Windgeschwindigkeiten von 12-14 m/s ihre Nennleistung. Die Anlagen arbeiten daher überwiegend im Teillastbereich, also mit einer Ausgangsleistung weit unterhalb der Nennleistung. Über die Wirkungsgrade von Frequenzumrichtern in diesen Teillastfällen werden jedoch von den Umrichterherstellern kaum Informationen bereitgestellt.

Am IALB wurde daher ein Simulationsmodell des Generator-Umrichter Systems entwickelt, mit dem das

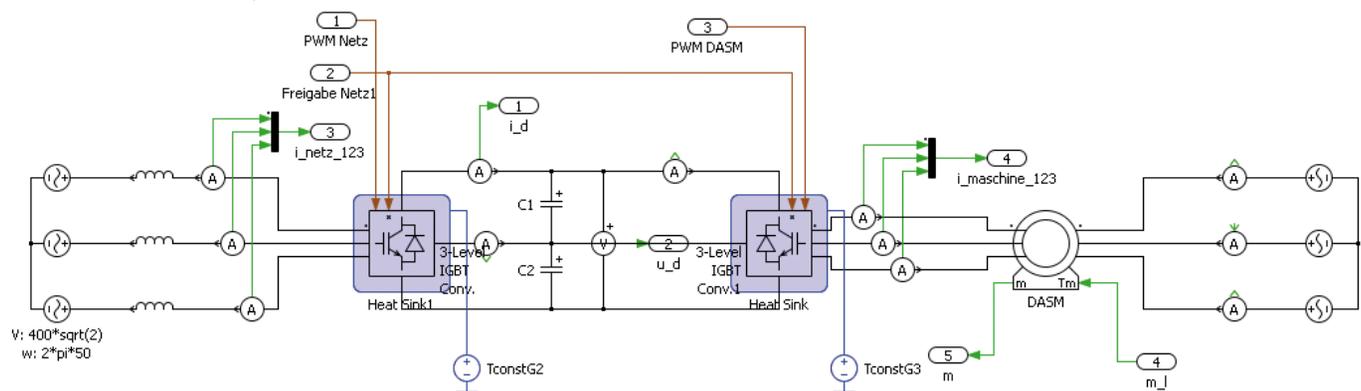


Abb. 2: Simulationsmodell (Ausschnitt) - Netz, Umrichter und Generator

Verhalten einer WEA in unterschiedlichen Betriebszuständen analysiert werden kann. Hierbei stehen die bisher kaum beachteten Wirkungsgrade der Umrichter im Vordergrund. Durch den modularen Aufbau des Simulationsmodells ist es einfach möglich, den Einfluss verschiedenster Umrichtertopologien sowie Modulationsverfahren auf den Umrichterwirkungsgrad zu untersuchen. In Abb.2 ist ein Auszug des Simulationsmodells mit dem nachgebildeten Netz, dem netzseitigen und rotorseitigen Frequenzumrichter sowie einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine dargestellt. Hierbei wurden verschiedene Multi-Level Umrichterstrukturen umgesetzt und mit der derzeit in WEA-Umrichtern häufig genutzten Zwei-Punkt Umrichtertechnik verglichen. Hiermit kann untersucht werden, ob der Einsatz von Multi-Level Umrichtern in WEA aufgrund des höheren Wirkungsgrades wirtschaftlich interessant ist.

Zusätzlich wird untersucht, inwieweit sich die Wirkungsgrade im Teillastbetrieb durch eine Modularisierung beeinflussen lassen. Werden beispielsweise in jeder Phase 3 Halbbrücken mit jeweils einem Drittel der Nennleistung parallel geschaltet, so muss bei Vollastbetrieb über jeden Umrichter ein Drittel des Gesamtstromes fließen. Bei geringeren Windstärken sinkt die einzuspeisende Leistung ab, wodurch es ausreicht, den Strom nur über zwei oder sogar nur eine parallele Brücke zu führen. Hierdurch entfallen die Schalt- und Durchlassverluste der übrigen Umrichter und die Gesamtverluste bei kleinen Einspeiseleistungen sinken.

Zur Verifikation der erzielten Simulationsergebnisse werden genaue Messungen der Verlustleistung an speziellen Versuchsumrichtern unterschiedlicher Topologien durchgeführt. Hiermit kann direkt auf die Umsetzbarkeit der entwickelten Verfahren in realen Umrichtern geschlossen werden.

Windenergieanlagen mit intelligenter Leistungselektronik zur Steigerung der Energieeffizienz

Mit der Errichtung der ersten Offshore-Windparks steigen die Anforderungen an die Verfügbarkeit zur effizienten Nutzung der dort installierten Windenergieanlagen. Bei ungünstigen Wetterbedingungen ist ein Service-Einsatz auf See über längere Zeit nicht möglich und kleine Fehlerursachen können so zu großen Einbußen im Ertrag führen. Um eine möglichst hohe Energieeffizienz zu erhalten, ist es entscheidend, drohende Schäden in Komponenten so frühzeitig zu erkennen, dass ungeplante Stillstände der Windenergieanlagen vermieden werden. Notwendige Reparaturen sollten möglichst im Zuge der regelmäßigen Wartungsarbeiten durchgeführt werden.

Standardmäßig verfügen die heutigen Windenergieanlagen über Diagnosesysteme zur Betriebsführung und Überwachung, die mit einem in der Gondel eingesetzten Sensornetzwerk ausgerüstet sind - je mehr Informationen verlangt werden, desto aufwändiger wird der Bedarf an Sensorik. Dieser Zusammenhang bringt neben Kosten weitere Fehlerquellen mit sich. Zusätzlich liegen auch eine Vielzahl von Prozessdaten bereits vor, die derzeit für die Anlagenüberwachung ungenutzt bleiben.

Mit bekannten Größen, die für die Regelung innerhalb des eingesetzten Frequenzumrichters mit Zykluszeiten im Mikrosekundenbereich ständig aktualisiert werden, ergeben sich neue Möglichkeiten. Mit der Nutzung dieser Daten und einer intelligenten Aufbereitung in harter Echtzeit, kann eine hochdynamische Analyse der Belastungen einer Windenergieanlage durchgeführt werden.



Abb. 1: Aufbau des Frequenzumrichters

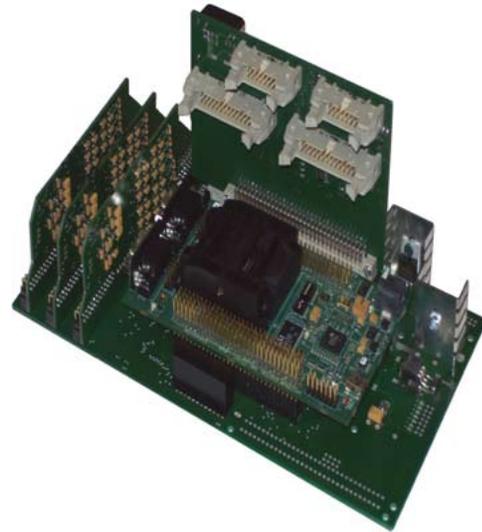


Abb. 2: Mikrocontroller-Board

Ziel der aktuellen Forschung am IALB ist eine deutliche Steigerung der Verfügbarkeit und Steigerung des energieeffizienten Betriebes, der sich nur erreichen lässt, wenn es gelingt,

- die an den kritischen Komponenten im Betrieb tatsächlich auftretenden statischen und dynamischen Belastungen durch Beobachtung oder direkte Messung laufend informationstechnisch zu erfassen und zu beurteilen,
- den Zustand und die Verfügbarkeitdauer der Anlagenkomponenten online durch entsprechende intelligente Leistungselektronik zu ermitteln,
- Wartungsempfehlungen auszusprechen und prädiktive Wartungsintervalle so einzuplanen, dass unerwartete Ausfälle vermieden werden.

Das Herzstück bei der Energiekonvertierung ist der leistungselektronische Wechselrichter, über den die Energie ins Netz eingespeist wird. Ziel der Arbeit ist die Erforschung und Entwicklung eines intelligenten Frequenzumrichters (Abb. 1) zur Ist-Datenerfassung, Online-Zustandsbewertung und Lastminimierung in einer Windenergieanlage. In einem vernetzten Diagnoserechner werden die Ist-Daten mit Referenzdaten zusammengeführt, so dass aus aktuell gewonnenen Daten die Erkennung einer Fehlfunktion von Komponenten bereits in der Entstehungsphase des Defektes ohne Bedarf an unüberschaubarer und kostenintensiver Sensorik vorgenommen werden kann.

Der Einsatz leistungsfähiger Mikroelektronik (Abb. 2.) soll an dieser Stelle in Verbindung mit intelligenter informationstechnischer Verwendung der Prozessdaten zu einer Qualitäts- und Effizienzverbesserung beim Betrieb von Windenergieanlagen führen.

Entwicklung eines Hardware-in-the-Loop-Simulators für eine Wickelmaschine mit Tänzerlageregelung

In der Industrie, speziell im Maschinen- und Anlagenbau, aber auch der Automobilbranche wird die Hardware-in-the-Loop-Simulation (kurz: HIL) zunehmend eingesetzt. Die HIL wird in eine Maschinensteuerung über einen Feldbus an ein Physikmodell (Simulation) einer Maschine angeschlossen. Dieses enthält in der Regel eine Abbildung des Verhaltens sowie des Materialflusses. Über eine optionale 3D-Visualisierung sowie Ausgaben der Physiksimulation kann dann ein Beobachter die Maschinenfunktionen überwachen. Zweck ist die Erstellung und Erprobung von Steuerprogrammen, bevor die Bauteile einer Maschine gefertigt und montiert sind. Aktuelle Studien bescheinigen dadurch eine Verkürzung von bis zu 80% während der Inbetriebnahme. Ein weiterer Vorteil liegt in der Möglichkeit, ohne Gefahr für den Bediener Grenzsituationen zu testen, wie z.B. das Fahren auf Hardware-Endschalter.

Zukünftige Anwendungsfelder können die Ferndiagnose und Fernwartung von Maschinen und Anlagen mit einschließen. Über eine Telekommunikationsleitung (z.B. das Internet) wird der aktuelle Zustand einer Steuerung vom Maschinenbetreiber in ein Service-Center beim Maschinenhersteller übertragen. Dort können dann anhand des physikalischen Modells erste Diagnosen gestellt und Empfehlungen erarbeitet werden.

Im vorliegenden Beitrag wird die Entwicklung eines HIL-Simulators für eine Wickelmaschine mit Tänzerlageregelung beschrieben. Abb.1 zeigt das Blockschaltbild einer HIL-Simulation. Wesentliche Bestandteile sind die Software, über die die Modellbildung mit Hilfe von MatLab-Simulink erfolgt und die Hardware in Form eines

DSP- μ Rechner-Boards, auf dem später die Regelung des (virtuellen) Wicklers abläuft. Abbildung 2. zeigt den schematischen Aufbau eines (Auf-)Wicklers. Hierbei wird zunächst vereinfachend angenommen, dass das Material z.B. Papier nur motorisch aufgewickelt

wird, der Abwickler und die Klemmstelle jedoch keinen Motor besitzen. Mit Hilfe des sogenannten Tänzer (siehe Abb.2) wird eine Entkopplung des Systems bzw. des Materials erreicht, so dass das Material konstant der gleichen Dehnung und dadurch Belastung ausgesetzt ist.

Als erstes erfolgt die Modellbildung der Wickelmaschine bestehend aus der mathematischen Beschreibung des Wickelantriebs, der Tänzerwalze, der Drehstrom-Asynchronmaschine (ASM) sowie der feldorientierten Regelung. Die Strecke setzt sich aus dem Wickelantrieb, der Tänzerwalze und der Drehstrom-Asynchronmaschine

zusammen. Zunächst wird der Wickelantrieb separat hergeleitet und später um die Tänzerwalze erweitert.

Abschließend muss das mathematische Modell der ASM eingebunden werden. Es folgt die Erstellung der eigentlichen Regelungsstruktur in Feldkoordinaten, unter Beachtung, dass die Tänzerlage und die Winkelgeschwindigkeit des Wicklers geregelt werden sollen.

Nun können die hergeleiteten Beziehungen in MatLab/Simulink umgesetzt werden, dies umfasst sowohl das physikalische Modell des Wicklers, wie auch die Regelung und die grafische Darstellung der Simulationsergebnisse.

Um einen vollständigen HIL-Simulator für eine Wickelmaschine zu erhalten, sind weitere Arbeitsschritte erforderlich:

- Komplettierung des Modells um die fehlenden Komponenten: motorischer Abwickler und motorische Klemmstelle
- die Regelung muss auf ein Microrechnerboard (Abb.3) mit einem digitalen Signalprozessor (DSP), z.B. den TI320F28335, portiert werden
- es muss ein geeigneter Feldbus ausgewählt werden, um die Hardware (μ -Rechnerboard) und die Software (Modell) miteinander zu verbinden
- Visualisierung in der virtuelle Maschine in einer 3D-Umgebung

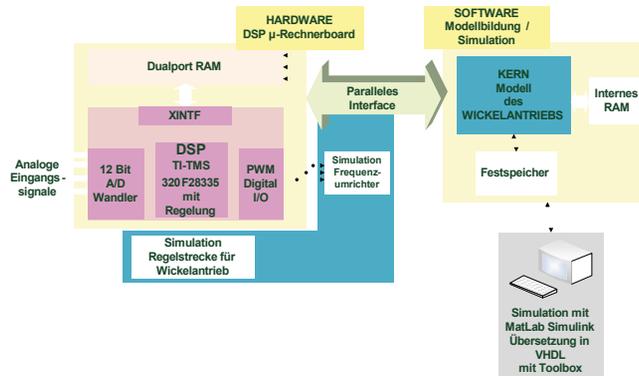


Abb. 1: Blockschaltbild HIL

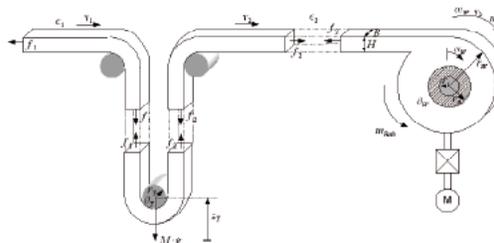


Abb. 2: Schematischer Aufbau eines Wicklers



Abb. 3: μ -Rechner-Erweiterungsboard

Kompakte Konstruktion einer Transversalflußmaschine für einen Radnabenmotor

Permanent magnetische Transversalflußmaschinen in Sammleranordnung (SPM-TFM) werden als Favoriten für zukünftige Direktantriebe in Radnabenmotoren für langsame Fahrzeuge betrachtet. Diese Antriebe zeichnen sich mit hohen Drehmomentdichten bei gleichzeitig niedrigen Drehgeschwindigkeiten aus. Wird versucht, eine Maschine einphasig zu betreiben, gestaltet sich der Betrieb schwierig und ein mehrphasiger Betrieb wird notwendig. Klassische Konstruktionen der TFM ordnen ihre Phasen untereinander in axialer Richtung mit der dazugehörigen Phasenverschiebung an. Ein neues Konzept bei der TFM, ordnet hier die Phasen nebeneinander um die Achse der Maschine auf dem Stator herum an und wird derzeit im IALB konstruiert und erforscht. Dabei handelt es sich um einen kleinen Prototyp als Außenläufer. In Abb. 1 wird diese Idee im Vergleich zu klassischen Konstruktion skizziert. Wird die Kreisanordnung der Phasen verwendet, kann die Maschine insgesamt kompakter konstruiert sein, im Vergleich zur Stapelanordnung. In Abb. 2 wird die neue Konstruktionsart des Prototyps in mehreren Ansichten und in Abb. 3 Fotos der Maschine gezeigt.

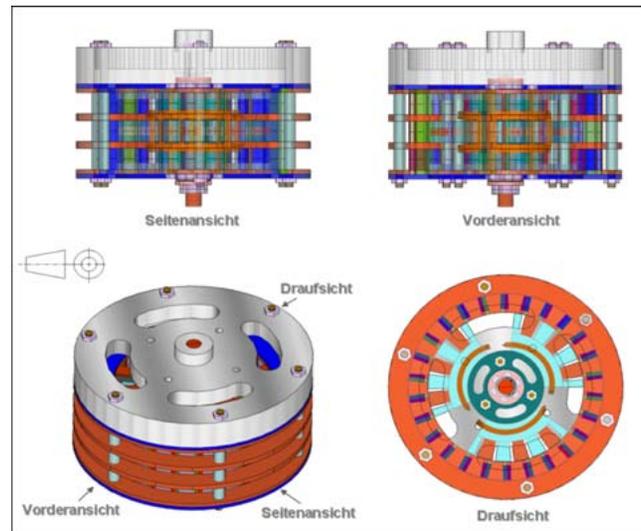


Abb. 2: neue Konstruktionsart des Prototyps

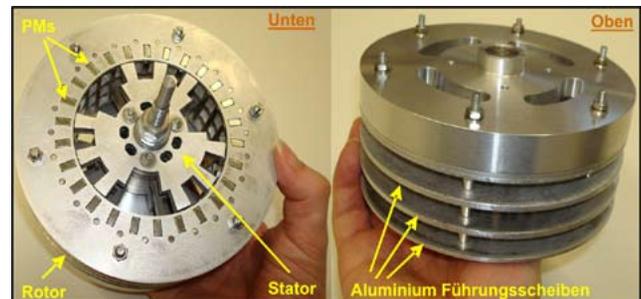


Abb. 3: Fotos der Maschine

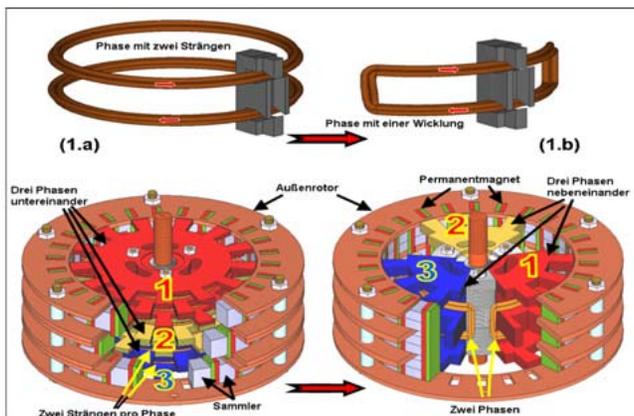


Abb. 1.a: Klassische Konstruktion 1.b: Neuer Entwurf

Der neue Entwurf der TFM wird mit Hilfe eines Finiten Elemente Programmes, Flux3D von Cedrat, untersucht, wobei zwei Weicheisenmaterialien M270-50A und SMC-Somaloy verwendet werden. Unter denselben Bedingungen und Maßen wurde auch das klassische Design berechnet, wobei anschließend die Resultate analysiert und verglichen worden sind. Als allgemeines Ergebnis kann festgehalten werden, dass die neue Bauweise ein etwa doppelt so hohes Drehmoment entwickelt. Für das neue Design ist für diesen Prototyp ein durchschnittliches Drehmoment von etwa 10.5 Nm berechnet worden, und für die klassische Bauweise berechnet sich das durchschnittliche Drehmoment zu etwa 5.4 Nm, s. Abb 4. Weiterhin zeigen die unterschiedlichen Materialien SMC und M270-50A kaum Unterschiede im Drehmoment bei der klassischen

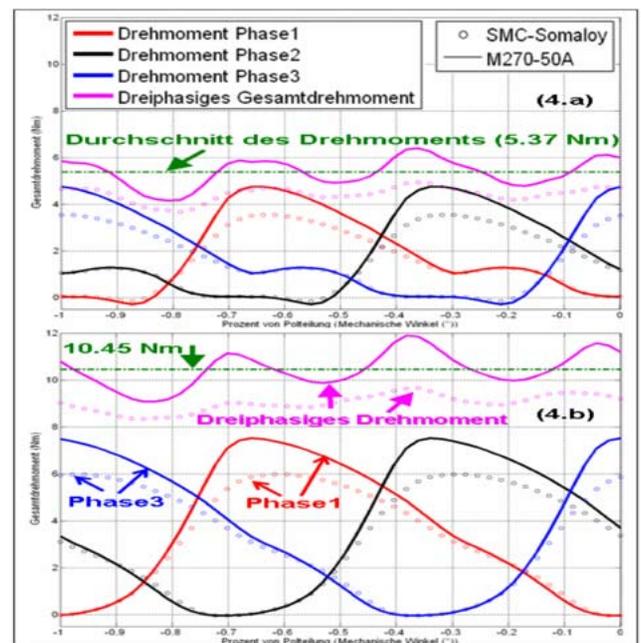


Abb. 4.a: Klassische Konstruktion 4.b: Neuer Entwurf und neuen Bauweise. Zusätzlich wichtig ist, dass das Rastmoment beim neuen Design des Prototyps reduziert ist und etwa 75% beträgt. Dies ist durchaus signifikant für die Anwendung als kompakter Radnabenmotor.

Effekte von Laminatmodellen bei TFM in Segmentkonstruktion durch magnetostatische Lösungsansätze

Dreiphasen Permanentmagnet Transversalmaschinen in Sammleranordnung (SPM-TFM) wurden entworfen und konstruiert, um eine kompakte Maschine für Radnaben zu integrieren. Für SPM-TFM gilt, dass die Flusspfade dreidimensional geführt sind und dass diese eine höhere Drehmomentdichte besitzen, als vergleichbare andere Maschinen mit hoher Drehmomentdichte. Aus diesem Grund ist zu empfehlen, solches Material zu verwenden, das den Fluss in alle Richtungen gleichmäßig leitet. Ein Vergleich zwischen der Struktur mit Laminatblechen und weichem Kompositionsmaterial (SMC) ergibt ein ähnliches Drehmoment, obwohl SMC als das bessere Material angesehen wird. Abb. 1 zeigt den Stator aus M270-50A Laminat. Verschiedene Zusammenfügungen von Laminaten und Isolierschichten werden als physikalische Einheiten mit dem Finite Elementprogramm untersucht, um den Einfluss der Laminatrichtung auf die Leistung der Maschine festzustellen, sowie auch im

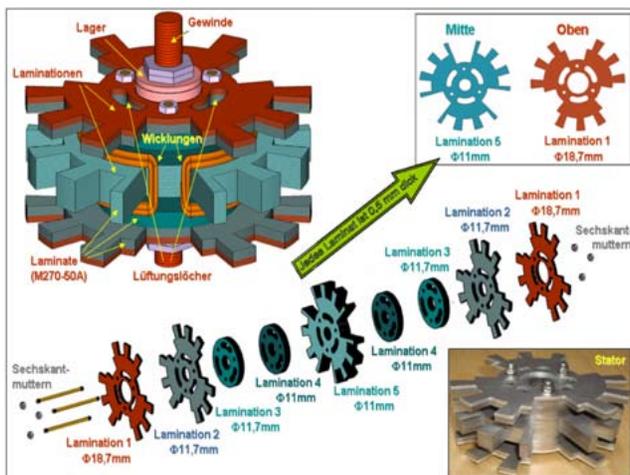


Abb. 1: Stator mit M270-50A Laminationen

Vergleich zu SMC. Drei Modelle der Laminatstruktur als Rechenmodell wurden realisiert, um eine mitgelieferte Software routine auf Verwendbarkeit zu überprüfen. Modell (1) besitzt zwischen den Laminatschichten eine Isolierungsschicht mit 0.01 mm in Axialrichtung, woraus die Notwendigkeit entsteht, ein sehr feines Netz zu verwenden. Modell (2) benutzt eine Scriptanweisung, um die Isolation und das Laminat zusammen als Einheit zu definieren. Der Schichtungs faktor beträgt dabei 0.98. Modell (3) benutzt alle erforderlichen Laminare, um den Stator als einheitlichen Block zu betrachten, wobei die Materialkonstante die Schichtung beschreibt. Bei diesem Modell kann die Netzknoten zahl erheblich reduziert werden. Modell (0) benutzt kein Laminat, sondern massives Material als Vergleich mit den anderen drei Modellen. Abb. 2 zeigt alle Modelle. Obwohl Modell (3) weniger Netzknoten (< 35%) nutzt, zeigt es ein sehr ähnliches Ergebnis wie Modell (1) u. (2). Daher wird die komplette TFM mit

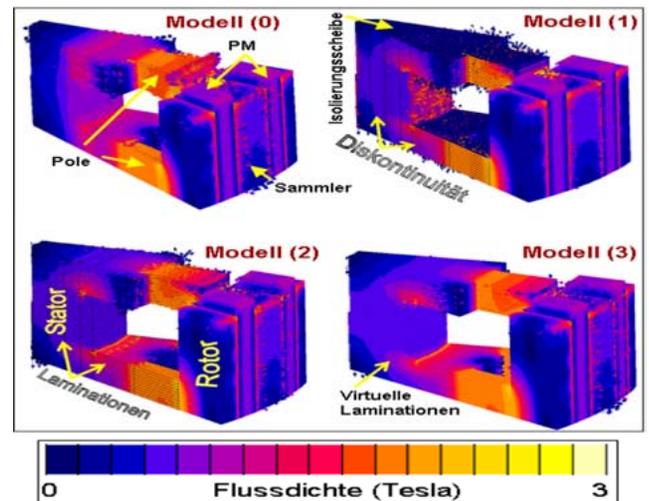


Abb. 2: Modelle von Laminationen

Modell (3) virtuell aufgebaut und mit Modell (0) verglichen. In Abb. 3 wird dies in einer Position gezeigt, wo die d-Achsen von Stator und Rotor fluchten. Die Studie wurde zusätzlich ergänzt, um auch die Gebiete zwischen den Phasen zu untersuchen, indem ein Messgitter zwischen je zwei Spulen gesetzt wurde, s. Abb. 4. Alle drei Modelle (1-3) bieten eine hohe Genauigkeit, wobei das Drehmoment 94% erreicht im Vergleich zum unlaminierten. Es ist aber dem SMC Material ähnlich.

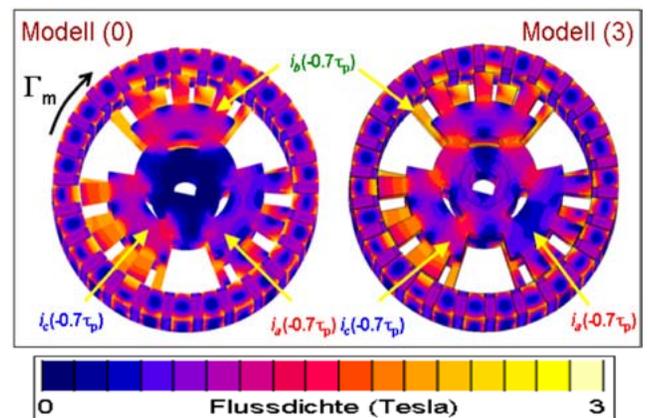


Abb. 3: Flußdichte in der SPM-TFM

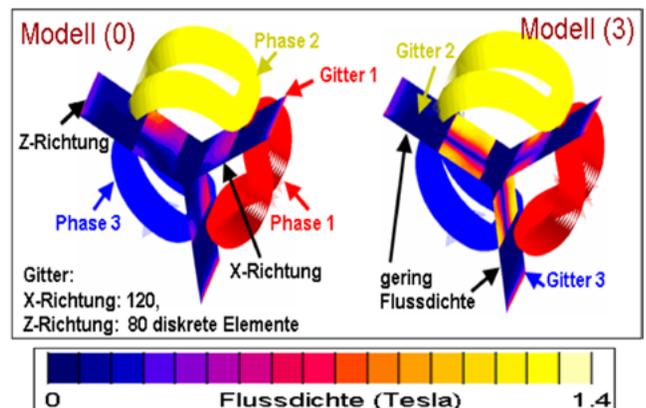


Abb. 4: Flußdichte auf Gitter zwischen den Phasen

Simulation des realen Verhaltens von Bedienelementen



Abb. 1: Beispiele von Bedienelementen aus verschiedenen Bereichen

Eines der ältesten und heute noch wichtigsten Prinzipien von Mensch-Maschine-Interaktion besteht in der Handhabung von Bedienelementen. Sie sind im Alltag an Haushaltsgeräten und im industriellen Umfeld nicht wegzudenken. Abb. 1 zeigt einige beliebig gewählte Beispiele, in denen Bedienelemente eingesetzt werden.

Für den Entwurf neuer Geräte mit Bedienelementen ist deren Bediencharakteristik eine offene Designgröße. Der Entwurf im Hardware-Prototyping kann mit einigen Zwischenschritten schnell größere Investitionssummen verlangen, selbst wenn aus einem größeren technischen System ggf. nur ein Teilbereich aufgebaut wird.

Weiterhin steht für die Benutzerschulung von technisch anspruchsvollen Systemen meist nur eine begrenzte Anzahl realer Geräte zur Verfügung, oder es ist aus Sicherheitsaspekten ratsam, die Benutzer zunächst in einer Simulation zu schulen, wie z.B. bei Piloten.

In allen diesen Fällen ist die Simulation des realen Bedienverhaltens wünschenswert. Am IALB wurde ein Simulator aufgebaut, der das reale Verhalten solcher Bedienelemente nachempfunden. Die an der Bedieneinheit auftretenden Kräfte werden dabei von einem Standard-Servoantrieb generiert, dessen Umrichter wird in Echtzeit über EtherCAT vom übergeordneten Leitreechner angesteuert (s. Abb. 2).

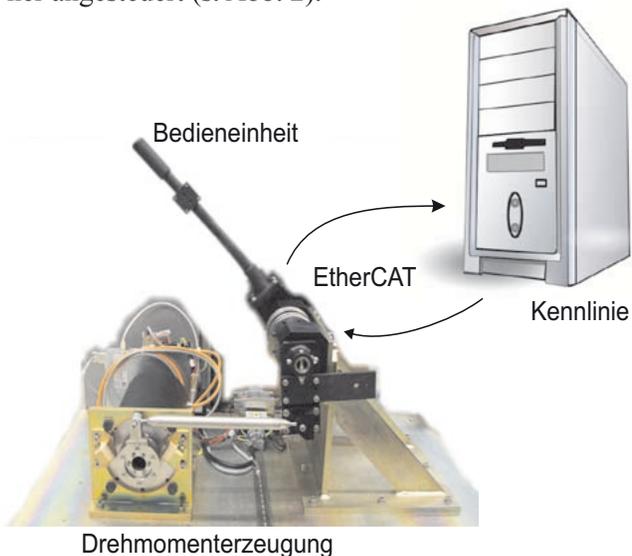


Abb. 2: Bedienelement-Simulator

Die im Leitreechner hinterlegte Bedienelement-Kennlinie ist, abhängig vom zu simulierenden System, beliebig einstellbar. Störende Abweichungen vom Wunschverhalten, wie variierende Lagerreibung, etc., sind dabei leicht zu berücksichtigen. Die Programmierung erfolgt dabei komfortabel über Matlab/Simulink (The MathWorks GmbH, Ismaning) oder in C. In Abb. 3 ist die beispielhaft eingestellte Kennlinie eines federnd aufgehängten Bedienhebels mit einer Vorzugsstellung in der Mitte der Kennlinie und virtuellen Anschlägen an beiden Enden des Verfahrraums dargestellt.

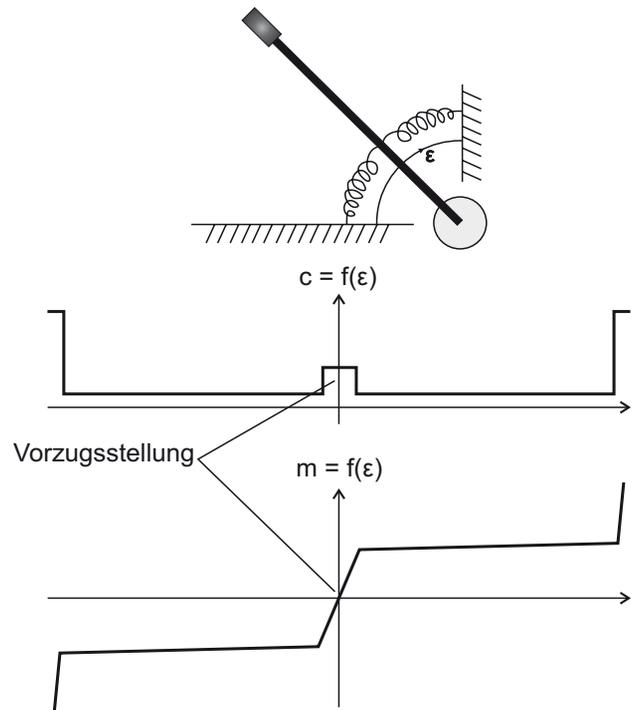


Abb. 3: Weg-Kraft-Kennlinie für einen federnd aufgehängten Hebel mit Vorzugsstellung und virtuellen Anschlägen

Die Problemlösung ist bei ausreichendem Bauraum in beliebige Aufbauten übertragbar. Somit wird das Produktdesign und die Schulung von Bedienpersonal in nahezu allen denkbaren Bereichen anspruchsvoller technischer Geräte erleichtert, was Kosten einspart und die Sicherheit erhöht.

Sensorlose Drehzahlregelung von Asynchronmaschinen unter Ausnutzung von Sättigungseinflüssen

Durch den Einsatz moderner Mikrorechner ist es möglich, 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.

Am IALB wurden neue Lösungsansätze zur modellbasierten sensorlosen Drehzahlregelung von Asynchronmaschinen unter Berücksichtigung magnetischer Anisotropien theoretisch und experimentell untersucht. Neben einem neuen, weiter gefassten Modell zur Beschreibung des dynamischen Betriebsverhaltens von Asynchronmaschinen wurden die selbsttätige Identifi-

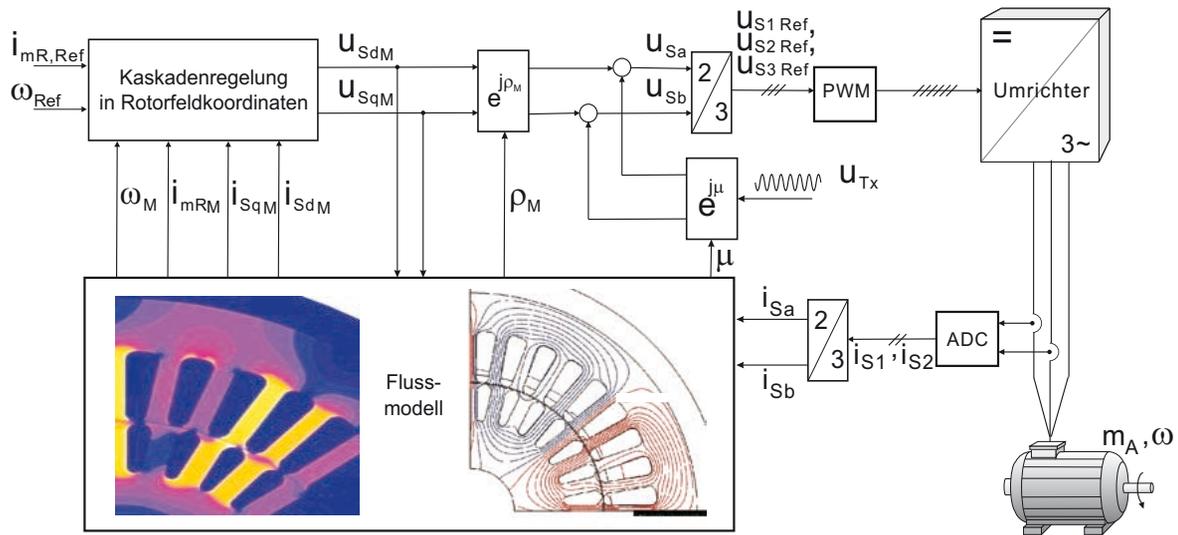


Abb. 1: System, sensorlos geregelte ASM

Für eine hochdynamische Regelung einer ASM ist die Kenntnis der Feld-Drehwelle in der Maschine eine Grundvoraussetzung. Moderne, modellbasierte Regelverfahren bieten unterschiedliche Möglichkeiten, über sogenannte Flussmodelle diese Voraussetzung zu erfüllen. Die bekannte raumzeigerbasierte Grundwellenbeschreibung der Asynchronmaschine bildet die Grundlage für eine große

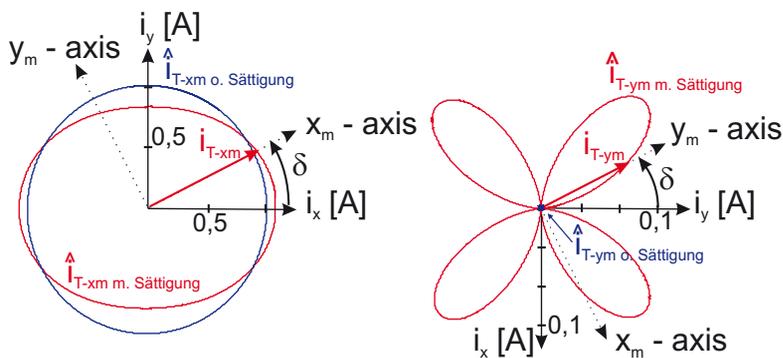


Abb. 2: Sättigungseinfluss auf die Amplitude der Testsignal - Stromantwort

Anzahl von Lösungsansätzen zur feldorientierten Regelung von Asynchronmaschinen ohne mechanischen Sensor. Bei der modellbasierten sensorlosen Drehzahlregelung werden der Fluss und die Drehzahl der Maschinen aus den Ständerströmen und -spannungen auf Basis eines Maschinenmodells berechnet. Ein bisher noch ungelöster, grundlegender Nachteil der modellbasierten sensorlosen Drehzahlregelung besteht darin, dass bei dem zugrunde gelegten Maschinenmodell die durch Eisensättigung und Nutung hervorgerufenen magnetischen Anisotropien vernachlässigt werden.

kation und Bewertung der Art und Größe der magnetischen Anisotropien und ihre Berücksichtigung bei der laufenden Fluss- und Drehzahlberechnung erforscht.

Der verwendete Ansatz zur feldorientierten sensorlosen Drehzahlregelung beruht auf der Bestimmung eines Differenzwinkels zwischen dem berechneten Modellflussvektor und der tatsächlichen Flussvektorlage in der ASM. Um die leistungsoptimale feldorientierte Regelung einer ASM zu ermöglichen, werden sämtliche Parameter des zugrunde gelegten Maschinenmodells und das Sättigungsverhalten bestimmt.

Zusätzlich werden die Strom- bzw. Spannungsbegrenzungen im Vorfeld identifiziert und ebenfalls in den Bestimmungsalgorithmus des Differenzwinkels integriert. Auftretende Abweichungen werden dabei im hoch dynamischen Differenzwinkelregelkreis ausgeregelt. Im physikalisch kritischen Ständerfrequenzbereich um Null Hertz wird die Maschine mit Testsignalen ange-regt. Die nötigen Informationen für die Berechnung des Orientierungsfehlers werden dabei aus den gemessenen Ständerströmen gewonnen.

All digital high efficiency AC/DC single phase power supply with active PFC

Most modern AC/DC converters are not only operated at higher frequencies to reduce size but integrate soft switching techniques to increase efficiency. Due to IEC and CISPR regulations these converters are often multistage and integrate PFC (Power Factor Correction) at mains end. Hence all digital system is a challenge on the one hand but offers benefits in the form of easy control bus integration with enhanced features and easy reprogrammability. All the PFC stage control algorithms (average current mode control, sliding mode control etc.) require extensive processing power.

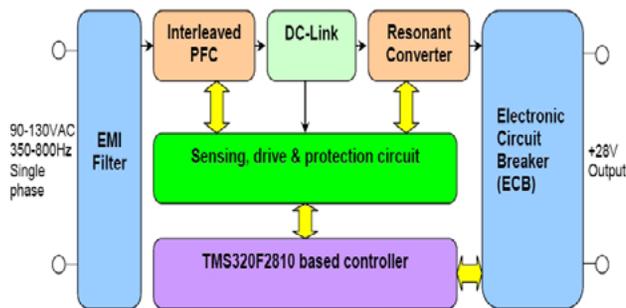


Fig. 1: PSU system block diagram

Integration of resonant converter at DC/DC stage further complicates the problem due to the fact that average models fail to predict the load dynamics and accommodation of higher order harmonics in design is vital for closed-loop stability

A new state-of-the-art all digital single phase power supply unit (PSU) with interleaved PFC and LLC type resonant converter at front-end has been developed. A simplified block diagram is shown in Fig.1. Prototype for the same system was developed and is shown in Fig.2. The Power factor correction (PFC) stage implements interleaved technology to reduce the input current harmonics and has no external cooling requirements. Also it reduces the weight and volume of the input EMI filter. Front end implements an LLC type half bridge resonant converter with integrated magnetics to reduce the component count. The PSU implements an all digital control algorithm for both PFC and resonant



Fig. 2: PSU system prototype

converter. TI TMS320F2810 is the core component of the system. Software has been written using function block diagram (FBD) methodology to minimize error

during software integration phase and to minimize software maintenance and enhancement effort afterwards. PSU specifications are described below:

- Variable input voltage range
90-130 VAC @ 360-800 Hz
- Output voltage 28 V
- Output power 200 W
- Input/output galvanic isolated
- Single phase interleaved PFC stage
- Efficiency > 90% @ full load
- Survival temperature -55° C - +85° C
- Input UV, OV and over current protection
- Output implements electronic circuit breaker (ECB)

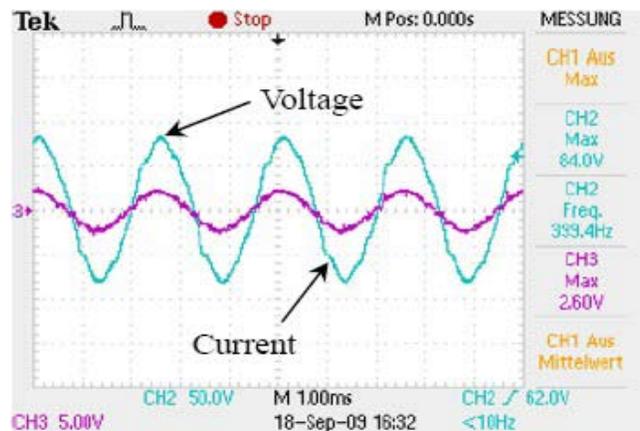


Fig. 3: 153 Watt load at PFC output

Fig.3 shows mains voltage and current wave forms for around 153 Watt load at PFC output. Auxiliary power supplies and circuits only consume 3 Watts. Efficiency plot for the system is shown in Fig.4.



Fig. 4: AC/DC efficiency curve

Safe Operating Area of 1200 V IGBTs

The IGBT was developed in the early 1980s and has an ever since increasing area of application. Nowadays the safe operating area (SOA) is well under control because all critical effects like latch-up are pushed far beyond the borders of the SOA. However, with increasing operating frequencies and/or junction temperatures those and additional effects might become critical again. Together with Infineon Technologies AG, Neubiberg, we will investigate the SOA of 1200 V IGBTs under such demanding operating conditions.

In the first step, we have created a simulation model for Infineon's 1200 V Field-Stop-IGBT. Based on technological data like diffusion profiles a 2D-finite-element model has been designed in MDRAW, a CAD-tool from Synopsys Inc. In the second step, the basic semiconductor equations are solved within the finite-element-structure. The software used is DESSIS, also from Synopsys Inc. The result is the electrical behaviour of either an individual semiconductor device or several devices combined in a circuit together with lumped elements like resistors and inductors (called mixed-mode). Terminal currents and voltages are then available as I-V-curves or as transient curves, i.e. time-dependent waveforms. The simulations for the 1200 V IGBT include normal turn-on and turn-off as well as short circuit conditions. Fig. 1 shows the circuit used for turn-on and off simulations.

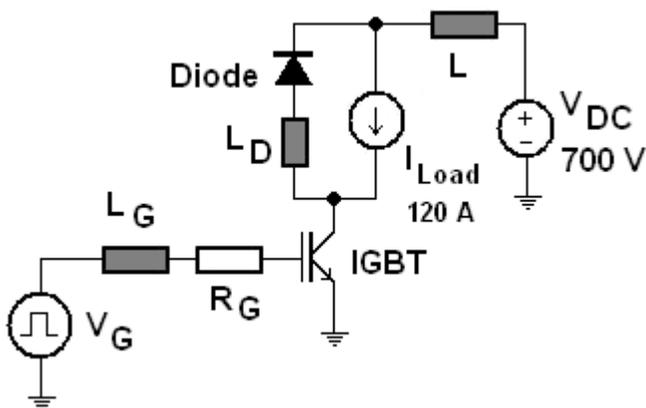


Fig.1: Simulated chopper circuit with ideal load.

Fig. 2 gives the simulated turn-off waveforms. In this simulation a compact model was used for the free-wheeling diode. Such models are not based on the semiconductor equations as described above for the IGBT but they are simply fitting the electrical behaviour. Such compact models are less detailed and accurate but their advantage is significantly less simulation time. For the IGBT turn-on simulation, the diode compact-model has to be replaced by a finite-element model to

consider the plasma dynamics and recovery behaviour of the diode. Fig. 3 shows the current and voltage waveforms of the IGBT during the turn-on.

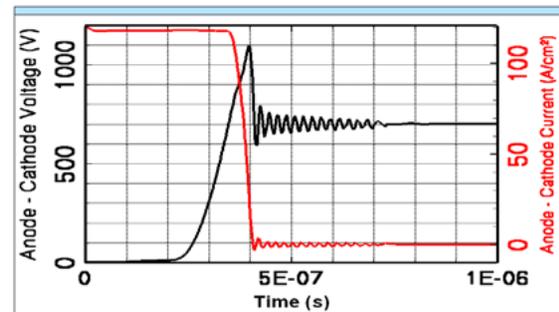


Fig.2: Simulation results for turn-off.

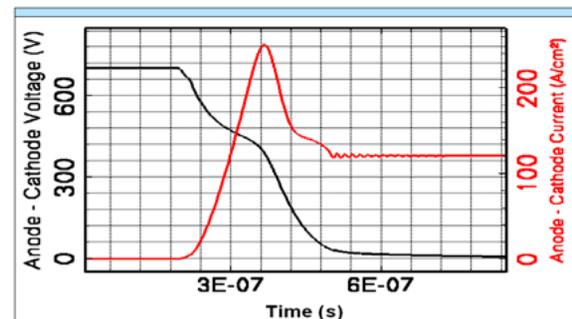


Fig.3: Simulation results for turn-on.

In the next step, real samples (Fig. 4) of the simulated IGBT will be measured. The obtained data will be utilised to calibrate and optimise the simulation-model. Afterwards, the calibrated model will be used to investigate the switching losses, gate capacitances, hot spots in the device, and the distribution of plasma under various operating conditions. The results should give indications how to improve the IGBT and how to make it more suitable for new applications.

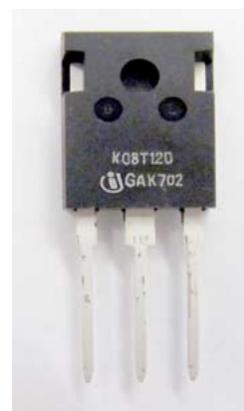


Fig.4: A real sample of the simulated IGBT in a TO 247 package (Infineon IKW08T120).

Reverse Conducting IGBT

Today the vast majority of IGBT applications are voltage source inverters. In such applications the IGBT conducts or blocks the current in forward direction, while a diode, connected anti-parallel to the IGBT, conducts in reverse direction. The three different modes alternate throughout the operating cycle.

Recently, semiconductor manufacturers started to integrate the reverse conduction capability into the IGBT structure. The new approach is advantageous because the diode, i.e. an extra chip, can be eliminated and the heat dissipation in the IGBT is more homogeneously distributed during the operating cycle.

The reverse conduction capability is achieved by the shorted anode configuration as shown in Fig. 1. An additional n^+ -area on the anode side is shorting the pn-junction there, so in reverse direction only one forward biased pn-junction remains and leads to reverse conduction. In addition, the short provides an alternative path for the electrons coming from the cathode (K) side during forward conduction. Therefore, the injection of excess minority carriers from the anode into the n-drift region is reduced. This influences the concentration of excess carriers (plasma) and thereby the switching behaviour of the IGBT and its on-state voltage drop. In this work, different anode shorted structures have been investigated at different temperatures with regard to the static on-state characteristics of the anode shorted IGBT in IGBT-mode. One example of the on-state I-V characteristics of an anode shorted IGBT in IGBT-mode is shown in Fig. 2. Here a snapback can be observed clearly, which is more pronounced at low temperatures. Conventional IGBTs do not show this effect, but conduct reasonable current as soon as the junction between p^+ -anode and n-buffer becomes forward biased. The difference originates from the alternative current path through the n^+ -short. Like in a MOSFET there is a unipolar current flow of electrons until the snapback point. Fig. 3(a) illustrates the electron current flow in the device before snapback. As the current increases, the lateral electron current flow through the buffer produces an increasing voltage drop across the junction between p^+ -anode and n-buffer. The voltage

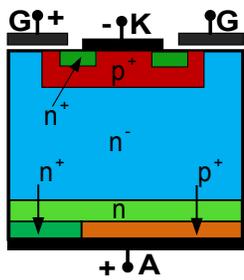


Fig. 1

drop is maximum at position L_p (at the middle of the p^+ -anode region considering the mirroring effect due to the boundary condition in the simulation). The p^+ -anode starts injecting carriers (holes) into the n-drift region at/around position L_p when there is a sufficient voltage drop. This happens just before snapback and at snapback the hole concentration in the n-drift region starts to exceed the background doping concentration. Fig. 3(b) illustrates the onset of minority carrier injection around position L_p . Obviously, the geometry and the doping concentrations on the anode side play an important role in the creation of the snapback and for its shape. The simulation results (at 400 K) for different p^+ -anode widths with constant n^+ -anode width are shown in Fig. 4(a). It can be seen that the current density and the voltage for the onset of snapback increase with the decrease in the p^+ -anode width. The simulations (at 400 K) for different n^+ -anode widths with constant p^+ -anode width are shown in Fig. 4(b). It can be seen that the current density and the voltage at the snapback point are not much influenced by the width of the n^+ -anode. From the above simulations, the snapback voltage is found to be mainly determined by the width of the p^+ -anode and neither by the proportion of the n^+ -anode nor by its width. Investigations are going on for the diode mode of this anode shorted structure and for the respective switching characteristics.

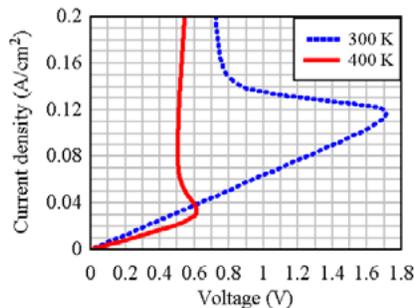


Fig. 2

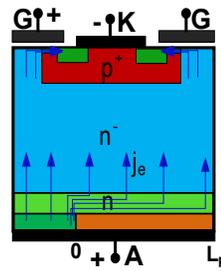


Fig. 3(a)

drop is maximum at position L_p (at the middle of the p^+ -anode region considering the mirroring effect due to the boundary condition in the simulation). The p^+ -anode starts injecting carriers (holes) into the n-drift region at/around position L_p when there is a sufficient voltage drop. This happens just before snapback and at snapback the hole concentration in the n-drift region starts to exceed the background doping concentration. Fig. 3(b) illustrates the onset of minority carrier injection around position L_p . Obviously, the geometry and the doping concentrations on the anode side play an important role in the creation of the snapback and for its shape. The simulation results (at 400 K) for different p^+ -anode widths with constant n^+ -anode width are shown in Fig. 4(a). It can be seen that the current density and the voltage for the onset of snapback increase with the decrease in the p^+ -anode width. The simulations (at 400 K) for different n^+ -anode widths with constant p^+ -anode width are shown in Fig. 4(b). It can be seen that the current density and the voltage at the snapback point are not much influenced by the width of the n^+ -anode. From the above simulations, the snapback voltage is found to be mainly determined by the width of the p^+ -anode and neither by the proportion of the n^+ -anode nor by its width. Investigations are going on for the diode mode of this anode shorted structure and for the respective switching characteristics.

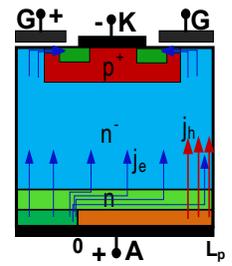


Fig. 3(b)

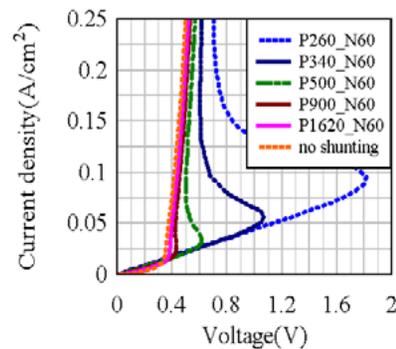


Fig. 4(a)

drop is maximum at position L_p (at the middle of the p^+ -anode region considering the mirroring effect due to the boundary condition in the simulation). The p^+ -anode starts injecting carriers (holes) into the n-drift region at/around position L_p when there is a sufficient voltage drop. This happens just before snapback and at snapback the hole concentration in the n-drift region starts to exceed the background doping concentration. Fig. 3(b) illustrates the onset of minority carrier injection around position L_p . Obviously, the geometry and the doping concentrations on the anode side play an important role in the creation of the snapback and for its shape. The simulation results (at 400 K) for different p^+ -anode widths with constant n^+ -anode width are shown in Fig. 4(a). It can be seen that the current density and the voltage for the onset of snapback increase with the decrease in the p^+ -anode width. The simulations (at 400 K) for different n^+ -anode widths with constant p^+ -anode width are shown in Fig. 4(b). It can be seen that the current density and the voltage at the snapback point are not much influenced by the width of the n^+ -anode. From the above simulations, the snapback voltage is found to be mainly determined by the width of the p^+ -anode and neither by the proportion of the n^+ -anode nor by its width. Investigations are going on for the diode mode of this anode shorted structure and for the respective switching characteristics.

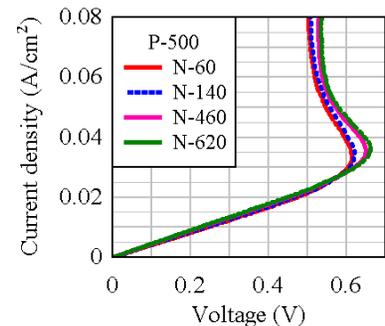


Fig. 4(b)

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.

Seit dem Jahr 2004 wird das Lehrangebot mit den beiden neuen Vorlesungen „Konstruktion elektrischer Maschinen I + II“ abgerundet, so dass die gesamte Breite der Antriebstechnik von der elektrischen Maschine über die Leistungselektronik und die Regelung bis hin zur Anwendung abgedeckt wird. Die Vorlesung „Konstruktion elektrischer Maschinen II“ wird in diesem Jahr erneut von Herrn Dr.-Ing. Thorsten Völker gehalten, der hierfür wieder einen Lehrauftrag erhielt.

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 werden das Funktionsprinzip des Transformators erläutert und die darauf basierenden Betriebseigenschaften 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 werden der Aufbau von Gleichstrommaschinen behandelt und die stationären Betriebseigenschaften der Reihenschluss-, Nebenschluss- und der fremderregten Gleichstrommaschine abgeleitet und diskutiert. Die Erzeugung von drehenden Magnetfeldern mit räumlich verteilten, feststehenden Wicklungen, 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.

Grundlagenlaboratorium Regelungstechnik Teil 1

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

- Temperaturregelung mit Zweipunktregler: Aufbau eines Temperaturregelkreises und Messung der erzielten Schalteigenschaften
- Verhalten von PID Reglern: Aufnahme der Sprungantworten und Frequenzgänge unterschiedlicher Regler und Strecken
- Spannungsregelung mit PWM: Erprobung der Auswirkungen von unterschiedlichen Reglertypen auf die Ausgangsgrößen beim Einsatz in Schaltnetzteilen

Power Converter Technology

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

Die Vorlesung beginnt mit der Vorstellung von 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 Vektor-Modulation 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.

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

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 Farbmischanlage 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 Hamilton Funktion 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.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. N. Kaminski



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



Prof. Silber ist seit 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 Polarisation (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 Energie-Bandstruktur 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 bilden 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 MOSFETs
- Sende- und Empfängerbauelemente der Optoelektronik

In diesem Kurs war eine Darstellung von Heterostrukturbauelementen aus Zeitgründen bisher leider nicht möglich. In zukünftigen Kursen wird durch eine Verlegung der Schwerpunkte dieses Thema aufgenommen werden.

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. Die Spanne reicht einerseits von der pin-Diode über den Bipolartransistor zu den verschiedenen Arten von Thyristoren und andererseits von MOSFET bis zu den Varianten des IGBT.

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 nanostrukturierten Halbleiterbauelemente.

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-Reflexion in der Kristallstrukturanalyse und der Optoelektronik usw.).

Modellbildung und Messverfahren für Leistungshalbleiterbauelemente

In dieser Veranstaltung beschäftigen sich Studierende der Elektrotechnik (Diplom- und Master-Studiengänge) mit Messverfahren zur Charakterisierung von Halbleitermaterialien und Bauelementen. Dabei stehen die grundlegenden Eigenschaften genau so wie das dynamische Verhalten im Vordergrund. Außerdem werden verschiedene Simulationsverfahren benutzt, um die theoretischen Ansätze mit der Realität abzugleichen. Konkret kommen hier Halbleitersimulatoren, thermisch-mechanische Simulatoren und Simulatoren für induktiv-parasitäre Effekte zum Einsatz.

Qualitäts- und Verbesserungsmethoden

In dieser Wahlpflichtveranstaltung erlernen die Studierenden Methoden, mit denen Sie nachhaltige Prozessverbesserungen realisieren können. Der Schwerpunkt liegt dabei zwar auf Produktionsabläufen, aber die Methodik lässt sich auch viele andere Bereiche anwenden. Den Rahmen der Veranstaltung bildet das Six Sigma Konzept, das durch den Einsatz bei General Electric bekannt geworden ist. Es beinhaltet einerseits Elemente aus Projektorganisation und -strukturierung und andererseits verschiedenste mathematisch-statistische Verfahren. In den Übungsanteilen, die jeweils in die Vorlesung eingebettet sind, wird vor allem die Statistik z.B. anhand von Würfelexperimenten behandelt.

Konstruktion elektrischer Maschinen



Dr.-Ing. Norbert Götschmann
Lloyd Dynamowerke GmbH & Co. KG,
Bremen

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 Sondermaschinen, bei dem der Dozent, Dr.-Ing. Norbert Götschmann, Leiter der Konstruktion ist.

Berechnung elektrischer Maschinen



Dr.-Ing. Thorsten Völker
Hochschule Bremerhaven

In dieser Vorlesung wird zunächst eine Einführung in den konstruktiven Aufbau und die Funktionsweise von Gleich- und Wechselstrommaschinen gegeben. Danach wird auf die Wicklungen, insbesondere auf die Drehstromwicklungen elektrischer Maschinen eingegangen.

Im Folgenden werden die Theorie elektrischer Maschinen anhand der Themen Strombelags- und Induktionswellen, Berechnung der Induktivitäten der Maschine und Stromverdrängungseffekte behandelt.

Die Erwärmung und Kühlung ist für die Konstruktion elektrischer Maschinen von großer Bedeutung und bildet einen weiteren Schwerpunkt der Vorlesung.

Basierend auf diesen Kenntnissen werden die maschinencharakteristischen Parameter Drehmoment, Drehzahl, Leistung und Wirkungsgrad sowie deren Zusammenhänge in Abhängigkeit von konstruktiven Daten ermittelt. Dies erfolgt konkret für die Asynchronmaschine und die Synchronmaschine. Im letzten Teil der Vorlesung werden noch diverse Sondermaschinen für spezielle Einsatzgebiete betrachtet.

Ziel der Vorlesung ist die Vermittlung sowohl der theoretischen als auch der in der Praxis gängigen Methoden zur Maschinenberechnung, aufgrunddessen wird die Vorlesung in Zukunft „Berechnung elektrischer Maschinen“ genannt.

Mechatronische Antriebslösungen für Produktions- und Logistikaufgaben



Dr.-Ing. Edwin Kiel
Lenze SE, Aerzen

Elektronisch geregelte Antriebe verrichten umfangreiche Aufgaben in allen Produktions- und Logistiksystemen. Sie verbinden die softwaregesteuerte Informationsverarbeitung der Automatisierungstechnik mit den physikalischen Prozessen und sind dadurch mechatronische Systeme. In dieser Vorlesung werden diese mechatronischen Antriebslösungen umfassend analysiert und vorgestellt:

- ihr Einsatzumfeld in der Produktion und Logistik: Fertigungsstrukturen und Abläufe, der Aufbau der Automatisierung
- die Komponenten und deren grundlegende Funktionsprinzipien, aus denen eine mechatronische Antriebslösung aufgebaut ist: Motoren, Umrichter, Getriebe einschließlich Aspekte zur Auslegung, Gesamtoptimierung und Zuverlässigkeit
- die Gesamtheit der Anwendungsfälle, eingeteilt in zwölf Klassen von Antriebslösungen. Für jede dieser Klassen wird der physikalische Prozess, der mechanische Aufbau sowie die Zusammenstellung der Antriebslösung aus den Komponenten mit den jeweils spezifischen Softwarefunktionen erarbeitet
- der Engineeringprozess, mit dem diese Lösungen an konkrete Anwendungsfälle angepasst werden
- die Energieeffizienz mechatronischer Antriebslösungen

Durch diese Vorlesung wird für das Anwendungsgebiet der Produktionstechnik und Logistik der Zusammenhang vom Gesamtsystem bis zum Aufbau der einzelnen Antriebe hergestellt, die dieses System maßgeblich gestalten. Damit ist diese Vorlesung auch eine gute Gelegenheit, Gesamtzusammenhänge eines Systems und ihre Wechselwirkung an konkreten Beispielen nachzuvollziehen und damit das Denken in solchen Systemzusammenhängen zu schulen.

AG Wind

In der Windenergiebranche herrscht ein immenser Bedarf an Qualifikation, Forschung und Entwicklung. Bremische, nationale und europäische Industrievorhaben im Themengebiet der Windkraft laufen derzeit erfolgreich in den Fachbereichen Elektrotechnik und Produktionstechnik an der Universität Bremen.

Bereits heute ist die moderne Windenergieanlage ein komplexes, mechatronisches High-Tech-System: Elektrotechnik, Mechanik und Informationsverarbeitung wirken hier eng zusammen. 2009 gründete das IALB eine offene AG „Wind“, die bereits von Unternehmen aus der Branche unterstützt wird. In selbstständiger Organisation eignet sich die studentische Arbeitsgemeinschaft das Wissen um das Zusammenspiel von Windrad, Getriebe, Generator, Leistungs- und Signalelektronik in den Windenergieanlagen an.



